A richiesta con la rivista, "I grandi della scienza": Majorana

Le Scienze

Ottobre 2013

€ 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

La funzione del sonno

Mentre dormiamo il cervello elimina connessioni per integrare i nuovi ricordi con i vecchi

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 542

Scienza e società

Il caso Stamina, tra dubbi scientifici e speculazione commerciale

Fisica quantistica

Se le particelle non sono oggetti materiali, che cosa è la realtà?

9 770036 808000 30542

ALL-NEW RANGE ROVER SPORT

CAPACE DI TUTTO.
ANCHE DI STARE FERMA.

landrover.it

LAND ROVER

ABOVE AND BEYOND

Land Rover consiglia Castrol Scopri le soluzioni d'acquisto personalizzate di LAND ROVER FINANCE (Freedom, Leasing e Rent).

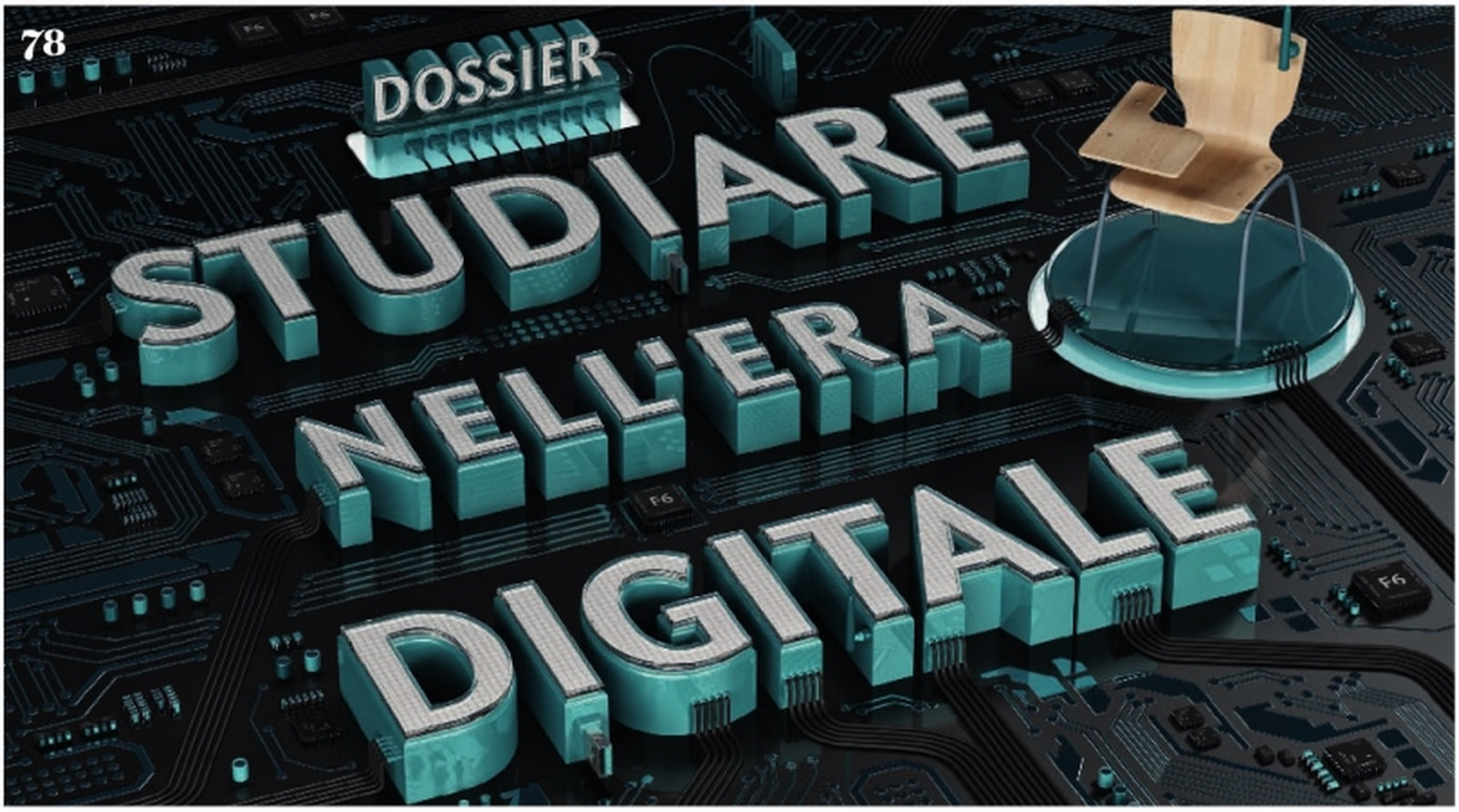
Consumi da 7,3 a 12,8 litri/100 Km (ciclo combinato). Emissioni CO_2 da 194 a 298 g/Km.

IN COPERTINA

Il sonno non rafforzerebbe le sinapsi tra i neuroni cerebrali; al contrario, ridurrebbe il numero di queste connessioni per integrare i nuovi ricordi con i vecchi e conservare l'energia indispensabile ai neuroni. (James Kimg-Holmes/SPL/Contrasto)

Sommario

ottobre 2013 numero 542



NEUROSCIENZE

36 La funzione del sonno

di Giulio Tononi e Chiara Cirelli

Durante il sonno il cervello lavora freneticamente, riducendo il numero di connessioni tra i neuroni. È un'attività di «potatura» essenziale per l'apprendimento e la memoria

FISICA QUANTISTICA

42 Che cosa è reale?

di Meinard Kuhlmann

I fisici parlano di un mondo fatto di particelle e campi di forze, ma non è chiaro che cosa siano particelle e campi di forze in ambito quantistico. Invece la realtà potrebbe essere composta da fasci di proprietà, quali il colore e la forma

EVOLUZIONE

50 Le sorprendenti origini della complessità della vita

di Carl Zimmer

Gli scienziati cercano di capire come possano evolvere strutture elaborate negli organismi senza l'azione della selezione

MEDICINA E SOCIETÀ

56 Il caso Stamina

di Silvia Bencivelli

Fallace dal punto di vista scientifico e in violazione delle norme del settore, la cura di Stamina rischia di inaugurare un pericoloso mercato senza freni

SPORT

64 Nuoto ad alta tecnologia

di Nunzio Lanotte e Sophie Lem

Le applicazioni della ricerca cambiano il mondo delle piscine

COMPORTAMENTO ANIMALE

70 La corsa agli armamenti acustici

di William E. Conner

Prede e predatori che usano il suono per cacciare e nascondersi

78 DOSSIER: STUDIARE NELL'ERA DIGITALE

INTRODUZIONE

80 I big data vanno a scuola

I MOOC

82 Speranze e illusioni

di Jeffrey Bartholet

Corsi on line gratutiti portano l'università nei paesi più poveri

TECNOLOGIA ADATTIVA

92 Imparare con le macchine

di Seth Fletcher

L'esperienza degli Stati Uniti nelle tecnologie per la didattica

IL FUTURO DEI TEST

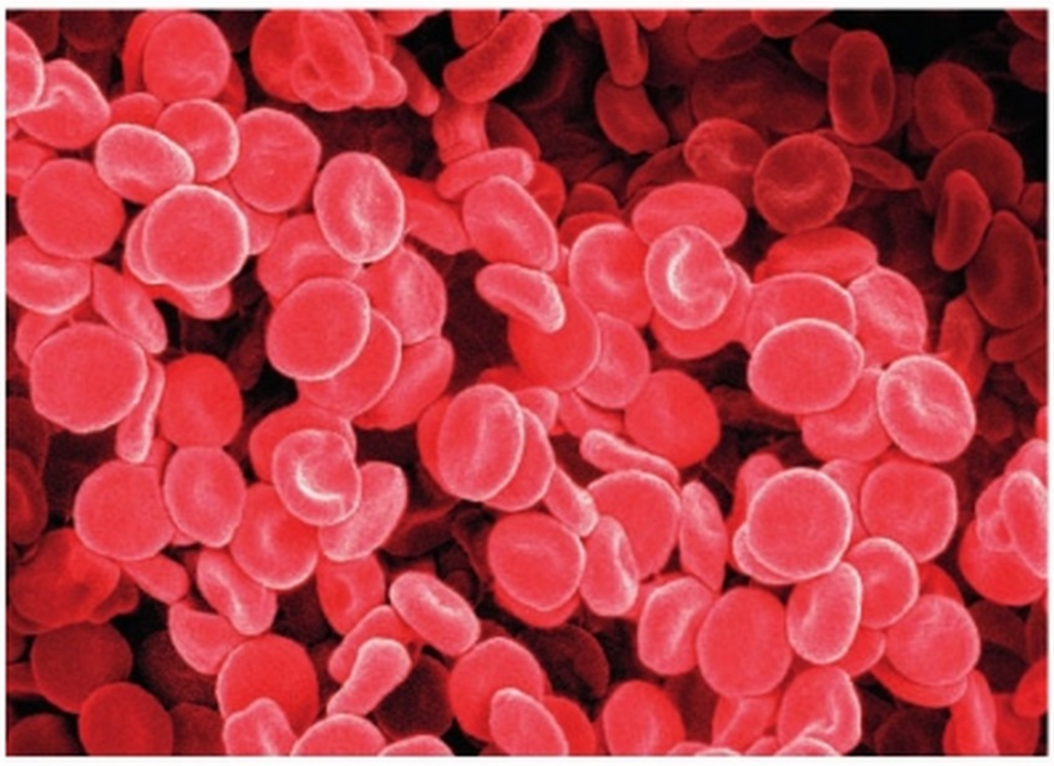
99 Scuole ad alta velocità

di Arne Duncan

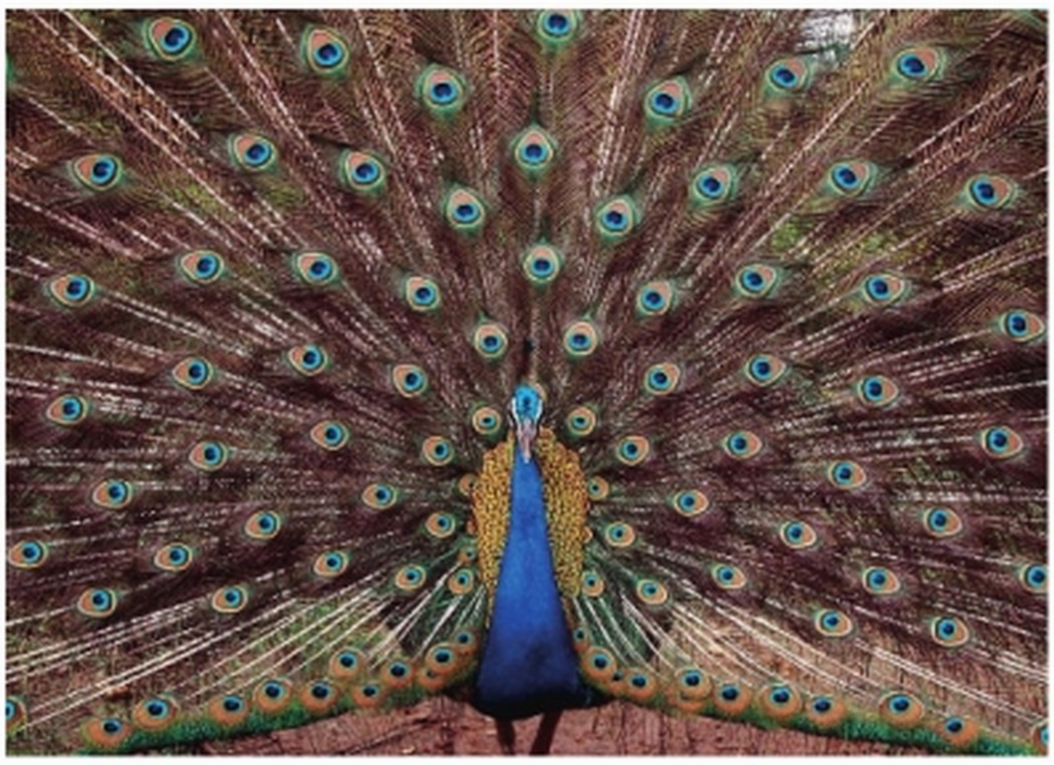
Più banda larga per la diffusione di strumenti digitali

FOREAL

Sommario



16



18

24

Rubriche

7 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

8 **Anteprima**

10 **Concorso fotografico**

12 **Lavori in corso**

14 **Intervista**
Ritratto di un matematico francese *di Stefano Pisani*

16 **Made in Italy**
Globuli rossi con farmaci *di Letizia Gabaglio*

18 **Scienza e filosofia**
L'evoluzione opportunista *di Telmo Pievani*

19 **Appunti di laboratorio**
Spazio, tempo e cervello *di Edoardo Boncinelli*

20 **Il matematico impertinente**
Un teorema affogato e riemerso *di Piergiorgio Odifreddi*

22 **Astri & Particelle**
Il problema delle tute spaziali *di Roberto Battiston*

24 **Homo sapiens**
Una differenza di principio *di Giorgio Manzi*

105 **Coordinate**
Inaccettabili differenze di genere *di Giovanni Spataro*

106 **Rudi matematici**
Teoricamente, si scia
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

108 **Libri & tempo libero**

112 **Povera scienza**
Anche i demoni sono tecnologici *di Paolo Attivissimo*

113 **Pentole & provette**
La temperatura dell'olio che fuma *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

27 Come studiare l'influenza aviaria?
28 Un nuovo membro della tavola periodica
28 ALMA studia gli oggetti Herbig-Haro
29 In equilibrio nel mondo dei quanti
29 Luce oltre il modello standard?
30 Il riconoscimento di Henrietta Lacks
30 Adamo visse insieme a Eva
31 Eventi estremi e anidride carbonica
32 Come è altruista quel batterio
32 Una nuova tecnologia per il DNA
32 Lo scheletro molecolare che sostiene i cromosomi
33 I giusti rapporti tra fiori e insetti
33 Ossigeno ed esplosione del Cambriano
34 Brevissime

Adam Gault/SPL/Corbis (*globuli rossi*); epa/Corbis (*pavone*); John Reader/SPL/Contrasto (*cranî Homo sapiens e H. neanderthalensis*)

LAGRANGE - *Un europeo a Torino*

Lagrange

Un europeo a Torino

19 settembre
23 novembre **2013**

Biblioteca Reale
Piazza Castello, 191
Torino

Sotto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica

ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo

Biblioteca REALE

ASTUT

CON IL SOSTEGNO DI

- Camera di commercio industria artigianato e agricoltura di Torino
- Compagnia di San Paolo
- Fondazione CRT
- Rotary International Distretto 2031 Italia
- Società Reale Mutua di Assicurazioni
- Università degli Studi di Torino

IN COLLABORAZIONE CON

- Archivio di Stato di Torino
- Archivio storico della Città di Torino
- Associazione CentroScienza Onlus
- Conservatorio Statale di Musica Giuseppe Verdi
- Fondazione Centro Studi Alfieriani
- INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino
- Infini.TO Planetario di Torino
- Museo Nazionale del Risorgimento Italiano
- Museo Regionale di Scienze Naturali
- Museo Storico Nazionale di Artiglieria di Torino
- Palazzo Madama, Museo Civico di Arte Antica
- Real Collegio Carlo Alberto di Moncalieri
- Thales Alenia Space
- Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Matematica
- Xké? Il laboratorio della curiosità

Ingresso libero

www.accademiadellescienze.it

VIRGINIO DE LUCA

CONTINUITÀ ED INFINITO

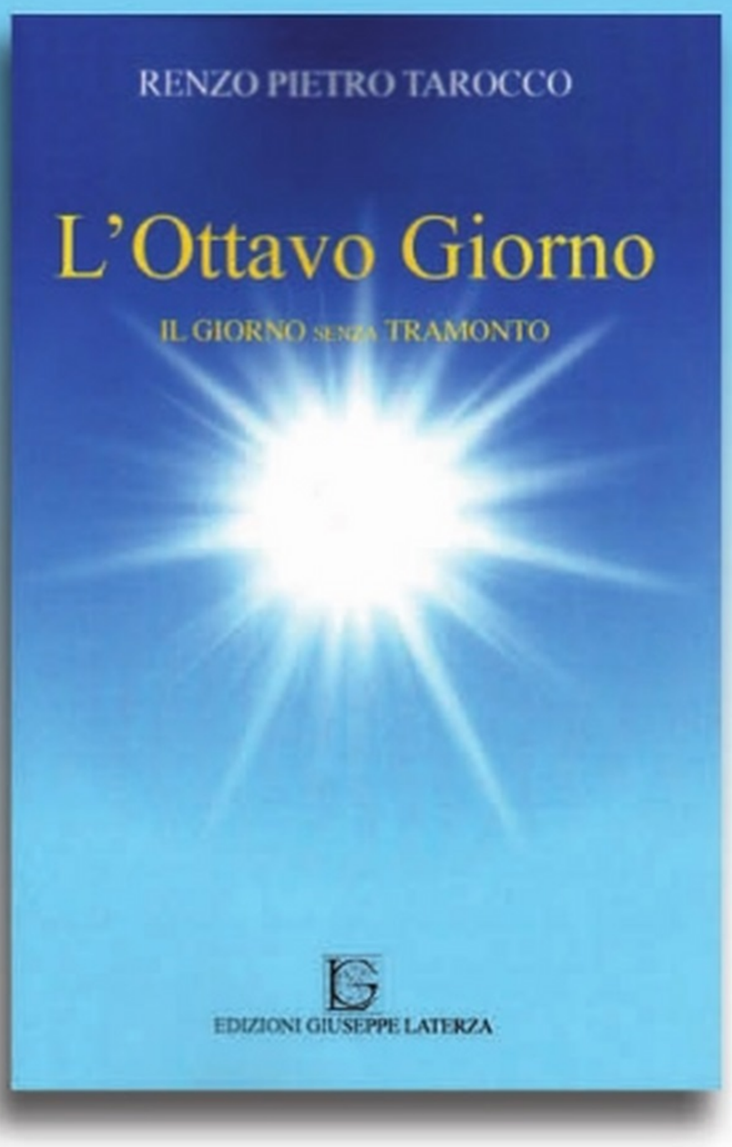
LA MATEMATICA NELLA SUA ORIGINE BIOLOGICA

*pagg.*352
€ 20,00

La dimensione biologica del tempo e dello spazio, origine della conoscenza della natura e della definizione del mondo fisico.

EDIZIONI GIUSEPPE LATERZA

BARI - VIA SUPPA, 14 - www.edizionigiuseppelaterza.it - edizionigiuseppelaterza@gmail.com



RENZO PIETRO TAROCCO

L'OTTAVO GIORNO

IL GIORNO SENZA TRAMONTO

Attraverso lo studio della storia evolutiva, si prospetta che la morte è solo un necessario momento dell'evoluzione, un momento strettamente personale, tutto da scoprire e non la fine di un'esistenza!

*pagg.*430
€ 30,00

di Marco Cattaneo

Una storia italiana

Il percorso opaco del metodo Stamina

La notizia è del 16 settembre. Un gruppo di ricerca congiunto di Centro «Dino Ferrari» dell'Università di Milano, IRCCS Fondazione Ca' Granda e Ospedale Maggiore Policlinico ha confermato l'efficacia del trapianto di cellule staminali neuronali, derivate da cellule staminali pluripotenti indotte umane, nel trattamento della sclerosi laterale amiotrofica. La ricerca è stata pubblicata su «Human Molecular Genetics», e per il momento gli esperimenti sono stati condotti sui topi, ma c'è di che essere ottimisti.

A lavorare per l'applicazione delle cellule staminali neuronali nella terapia delle malattie neurodegenerative, nel mondo, sono centinaia di laboratori. Forse migliaia. Che eseguono esperimenti, pubblicano i risultati, si confrontano nei congressi internazionali, collaborano nel chiarire quali possano essere i benefici ma anche i rischi e gli ostacoli che si frappongono allo sviluppo di terapie innovative.

Sul lato in ombra di questa nuova terra promessa della medicina, come racconta Silvia Bencivelli a pagina 56, si muovono organizzazioni che propagandano presunte cure a base di staminali per guarire le patologie più disparate. Due anni fa Douglas Sipp, del RIKEN Center for Developmental Biology di Kobe, in Giappone, le ha censite su «Frontiers of Medicine»: almeno 300 si facevano pubblicità in lingua inglese e 100-150 erano attive in Cina, mentre altre centinaia erano le cliniche russe che offrivano le loro «ricette» a base di staminali. La maggior parte aveva sede in paesi che non sono propriamente celebri per ospitare istituti di ricerca di punta: dall'Ecuador a Panama, dalla Repubblica Dominicana alle Seychelles.

È in questo contesto, dunque, che è opportuno inquadrare l'intricata vicenda della Stamina Foundation, la fondazione presieduta da Davide Vannoni che a colpi di trasmissioni televisive di intrattenimento e complesse vicissitudini giudiziarie ha catturato la speranza di migliaia di famiglie e l'attenzione scettica, quando non apertamente critica, della comunità scientifica. Fino alla bocciatura del protocollo presentato per la sperimentazione da parte della commissione nominata dal ministro Lorenzin.

Davide Vannoni prosegue nella strenua difesa del metodo, accusando di mancata trasparenza il Ministero della Salute e la sua commissione di esperti. Ma a ben vedere, anche seguendo il filo della ricostruzione di Silvia Bencivelli, è proprio Stamina a muoversi lungo un percorso opaco, fin dall'inizio di questa dolorosa storia. Di volta in volta, è Stamina che non ha pubblicato i propri risultati, è Stamina che rimanda a domande di brevetto bocciate da tempo e mai ripresentate, è Stamina che invoca la segretezza del metodo, è Stamina che chiede riservatezza sul protocollo.

Laguna Design/ Science Photo Library/Corbis (*staminali*)

A differenza di quanto accade nella comunità scientifica. E proprio come fanno le organizzazioni elencate da Sipp. Con un distinguo, nemmeno poi tanto sottile: nessun paese ha autorizzato sperimentazioni prive dei necessari requisiti di trasparenza a spese del servizio sanitario nazionale. Solo in Italia è accaduto, attraverso un decreto approvato di fretta e all'unanimità dal Senato e solo successivamente emendato alla Camera.

Ci sono primati, a volte, di cui faremmo volentieri a meno.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

I successi di Erica e Harold

L'animale sociale, di David Brooks, è il libro in edicola con il numero di novembre

Harold ed Erica sono due persone di successo, hanno raggiunto ottimi risultati nelle rispettive vite professionali e in questo percorso trionfale si sono anche sposati. Sono partiti però da posizioni sociali ed economiche molto diverse, e nessuno dei due è un genio. Harold è stato il classico ragazzo bianco della classe media statunitense. Atletico ma non troppo, e con qualche lampo di idealismo, non è poi così ambizioso. Dopo gli studi universitari entra nel mondo del lavoro come consulente e alla fine arriva ad avere un ruolo come intellettuale di riferimento in un *think-tank*, uno di quei centri studi che travasano idee e strategie nella vita pubblica degli Stati Uniti. Erica invece è per metà sino-americana e per l'altra metà messicana-americana. Nata e cresciuta in una famiglia povera, riesce a fondare una propria azienda e finisce per diventare una personalità importante nella vita politica degli Stati Uniti.

Entrambi sono personaggi immaginari, creati dalla mente del *columnist* del «New York Times» David Brooks per il suo libro *L'animale sociale*, allegato al numero di novembre di «Le Scienze» e in vendita in libreria per Codice Edizioni, in cui l'autore tenta di rispondere alla domanda: come sono riusciti Harold ed Erica ad arrivare tanto in alto, superando le peripezie che accompagnano ogni esistenza?

Non è un interrogativo di immediata soluzione, perché come spiega Brooks è innanzitutto necessario abbandonare il primato, presunto per lui, della razionalità e del quoziente intellettivo. Seguendo la vita dei suoi due personaggi nei vari capitoli, dall'infanzia alla vecchiaia, e con il conforto di studi di scienze cognitive, neuroscienze e psicologia, Brooks opera una piccola rivoluzione copernicana. Il successo sociale e privato dei suoi due protagonisti è dovuto principalmente alla parte inconscia della mente, quella che per lungo tempo è stata derubricata a componente primordiale che deve essere addomesticata per prendere decisioni assennate e quindi corrette. Al contrario, per Brooks «le componenti mentali inconsce costituiscono la porzione più estesa della mente, dove matura gran parte delle decisioni e dove hanno luogo molti dei più significativi atti del pensiero. Questi processi sommersi sono il semenzaio della realizzazione nella vita».

Sono l'istinto e la competenza non cognitiva che sbrigativamente e con un pizzico di banalità chiamiamo buon senso a dettare la nostra vita, molto più della mente razionale. Tanto per essere chiari, Brooks cita un dato: la mente umana può gestire in ogni momento 11 milioni di elementi di informazione. La stima più generosa è che al massimo un individuo possa essere cosciente di una quarantina di essi. La visione della razionalità padrona dovrebbe dunque essere rovesciata: è l'inconscio a fare tutto il lavoro, la coscienza potrebbe limitarsi a dare un senso a quello che l'inconscio fa di propria iniziativa.

Il territorio d'azione di queste competenze sottovalutate o addirittura dimenticate è quello dei legami invisibili tra gli individui, delle relazioni sociali che possono emergere da questi legami e che a loro volta danno vita a strutture di tipo diverso e con differenti ruoli, che siano politici, religiosi, economici o della cerchia stretta di amici. La socialità è uno dei tratti distintivi della nostra specie, ed è il regno della mente interiore, come la chiama Brooks in un singolare ossimoro semantico con l'esteriorità del risultato dell'opera di questa mente. La mente cosciente non è più al centro del comportamento umano, è bene farsene una ragione.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

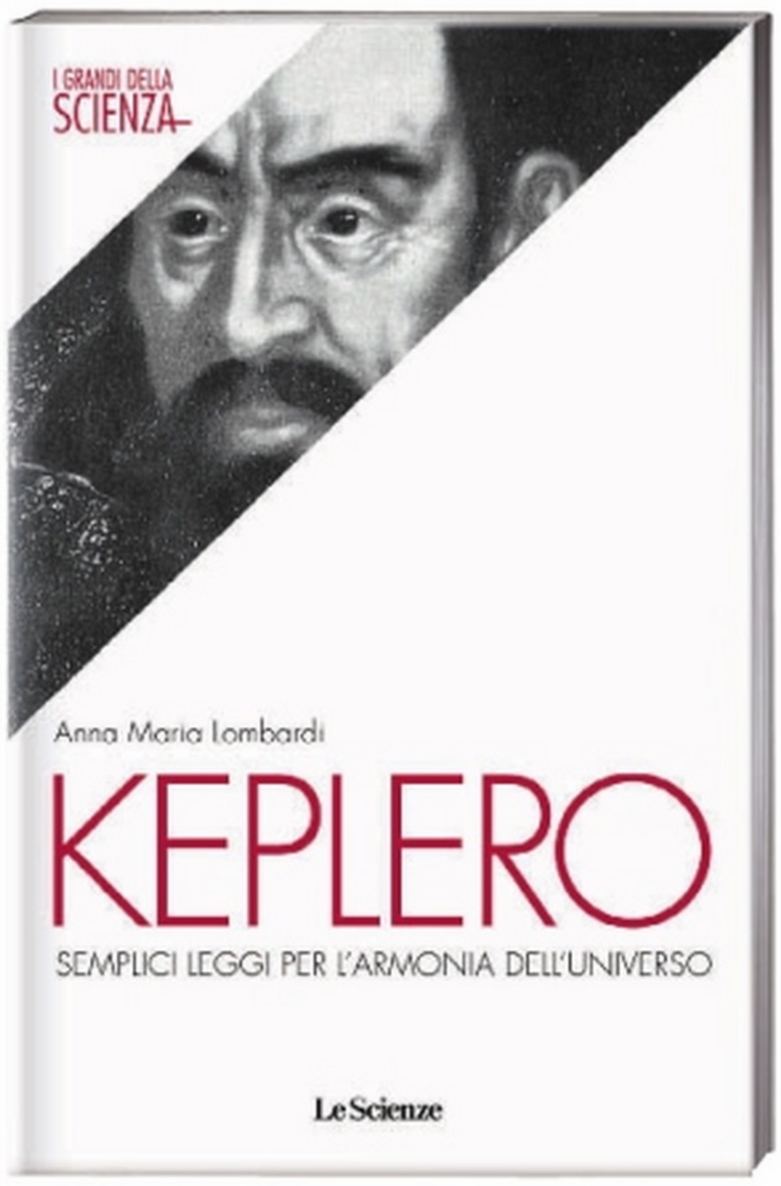
La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione.
Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

file404/Shutterstock

La ricerca dell'armonia

A novembre *Keplero*, di Anna Maria Lombardi, per *I grandi della scienza*

Un incarico come astrologo per tirare a campare e una madre accusata di stregoneria. Il vaiolo all'età di quattro anni, l'umile condizione sociale e una moglie facoltosa deceduta in preda alla pazzia. Il conflitto tra cattolici e protestanti, un maestro seguito per lungo tempo che però sbaglia quando non avrebbe mai dovuto sbagliare, diversi figli morti troppo presto. Non è stata facile la vita per Giovanni Keplero, come probabilmente non deve essere stato facile seguire con pervicacia lo studio scientifico proprio quando la scienza appena nata metteva in discussione saperi e autorità millenarie e allo stesso tempo tutto sembrava mettersi di traverso nel privato.



Questa esistenza tribolata emerge riga dopo riga nei suoi lavori che «tratteggiano, in modo spesso passionale, le vicende quotidiane, la storia del tormentato mondo in cui vive, oltre all'evoluzione del pensiero scientifico», come scrive la storica della fisica Anna Maria Lombardi in *Keplero*, decima uscita per la collana *I grandi della scienza*, a richiesta a 6,90 euro con «Le Scienze» di novembre.

L'eredità principale dell'astronomo tedesco sono tre leggi che portano il suo nome e descrivono le orbite ellittiche dei pianeti attorno al Sole. Quello che oggi è un'evidenza scontata, all'epoca di Keplero era invece in contrasto con la visione comune. Alcuni astronomi mettevano il Sole al centro dell'universo, ma i pianeti su orbite circolari, altri ancora non avevano addirittura accettato la fine del geocentrismo, perciò mettevano la Terra al centro di tutto e calcolavano orbite planetarie sempre su circonferenze. Tra questi ultimi c'era Tycho Brahe, patrizio danese, per il quale Keplero aveva lavorato come assistente. In realtà Brahe aveva cercato di trovare una terza via che mediasse tra eliocentrismo e geocentrismo, nel tentativo di salvare il mondo descritto dalle Sacre Scritture. Ma proprio le leggi dedotte da Keplero sulle orbite ellittiche, due illustrate nel 1609 in *Astronomia nova* dopo anni di studi e un'altra successivamente, avevano dato il colpo di grazia al sistema geocentrico, decretando la vittoria della rivoluzione iniziata da Copernico. L'allievo di umili origini aveva superato il maestro di nobile famiglia e, ironia della sorte, l'astronomo tedesco aveva elaborato le prime due leggi grazie alle osservazioni effettuate da Brahe.

Keplero è stato anche altro, non solo astronomo. Nei primi anni di carriera insegnava matematica, e per raccogliere qualche soldo in più faceva oroscopi e aveva acquisito una buona fama come astrologo in un bizzarro incrocio con il mondo antitetico alla scienza che avrebbe ripercorso molti anni dopo, quando era riuscito a salvare la madre dalle pesanti conseguenze di un'accusa di stregoneria. Ma soprattutto Keplero è stato uno scienziato che intendeva dimostrare come l'azione dell'intero creato, dal sistema solare alle relazioni umane, fosse regolato dalle leggi dell'armonia.

Questa ricerca di una trama armonica cosmica è il filo rosso che lega i vari passaggi del libro *Harmonice mundi*, in cui Keplero tra l'altro elabora la terza legge delle orbite dei pianeti e sottolinea anche diverse analogie tra moto armonico dei pianeti attorno al Sole, proporzioni armoniche musicali e figure geometriche. C'è anche una parte dedicata alla metafisica, all'astrologia e all'armonia della mente, sono argomenti che non scalfiscono minimamente l'opera e la figura di Keplero, ma che anzi restituiscono ancora più in dettaglio la figura di un uomo che nella tempesta della propria esistenza aveva forse cercato rifugio nella conoscenza della natura, lottando contro ignoranza e pregiudizi.

TUTTE LE USCITE

I titoli pubblicati nei mesi precedenti, da febbraio ad agosto sono: Galileo, Newton, Darwin, Einstein, Copernico, Heisenberg e Poincaré.

Pasteur
Dal microscopio alla Legion d'onore
di Pietro Dri

Majorana
Il genio scomparso
di Luisa Bonolis

Keplero
Leggi per l'armonia dell'universo
di Anna Maria Lombardi

Feynman
La vita di un fisico irriverente
di Elena e Leonardo Castellani

Concorso di fotografia 2013

La ricerca biomedica protagonista del tuo scatto. III edizione

Estratto del regolamento. Il Regolamento completo è consultabile on line su www.lescienze.it

CHI PUÒ PARTECIPARE

Studenti universitari, dottorandi, specializzandi, borsisti, assegnisti di ricerca di tutte le Università italiane e degli Enti pubblici di ricerca.

COME PARTECIPARE AL CONCORSO

Ciascun concorrente può partecipare con un massimo di 6 (sei) fotografie, il cui tema dovrà essere attinente all'attività di ricerca nel campo biomedico. E alle sue applicazioni a beneficio dell'uomo. Le fotografie potranno illustrare ogni aspetto della ricerca, con una particolare attenzione ai soggetti coinvolti nello svolgimento e/o nelle applicazioni della ricerca stessa.
Ogni fotografia dovrà recare, incollato sul retro, il modulo di partecipazione al Concorso (coupon) pubblicato su Le Scienze dei mesi di agosto, settembre oppure ottobre 2013, integralmente compilato in stampatello e completo di firma leggibile; nel caso si partecipi con più fotografie, è possibile utilizzare fotocopie del coupon, anch'esse debitamente compilate e firmate, da applicare sulle ulteriori foto. Ogni immagine dovrà comunque riportare sul retro un coupon correttamente compilato e sottoscritto e almeno una delle fotografie inviate dovrà riportare il coupon originale, pena l'esclusione dal Concorso.

SUPPORTI AMMESSI

Si accettano solo stampe a colori o in bianco e nero.
Sono ammesse sia immagini scattate su pellicola (negativa o diapositiva), sia realizzate con apparecchi digitali. Non verranno accettate fotografie incorniciate o montate su telaio di alcun tipo (vetro, passe-partout, cartoncino, ecc.). Gli originali (file digitali o pellicola) dovranno essere a disposizione di Le Scienze per la pubblicazione. Le stampe non saranno restituite. Sono ammesse immagini riprese con cellulari e smartphone.

REQUISITI

Le fotografie non devono essere state premiate in altri concorsi, inclusi quelli indetti da Le Scienze, e devono essere state scattate da non più di due anni dal 1° agosto 2013. **Le fotografie in cui compaiono persone riconoscibili devono essere corredate da liberatoria firmata,** scaricabile dal sito www.lescienze.it, pena l'esclusione dal Concorso.

In collaborazione con

Laurea Magistrale
Comunicazione Scientifica Biomedica
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

Realizzato grazie al contributo incondizionato di

Abbott
A Promise for Life

PERIODO DI VALIDITÀ

Le fotografie devono essere inviate in busta chiusa e regolarmente affrancata a "Le Scienze S.p.A., Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma" nel periodo compreso tra il 1° agosto 2013 e il 21 ottobre 2013 incluso. Saranno accettate soltanto le fotografie inviate nel corso del suddetto periodo di validità ed esclusivamente con le modalità sopraindicate. Fa fede la data del timbro postale.

GIURIA

Entro il giorno 15 novembre 2013 – in presenza di un funzionario delegato dal Tutore della fede pubblica della locale CCIAA di Roma, in qualità di garante e tutore della fede pubblica, il quale avrà esclusivamente il compito di vigilare sulla regolarità delle operazioni – si riunirà una giuria appositamente predisposta, presso la sede di Roma sita in Via Cristoforo Colombo, 90.
La giuria valuterà le immagini sulla base della creatività e della qualità fotografica. La giuria nominerà i primi quattro classificati e quattro riserve. La giuria si riserva, a suo insindacabile giudizio, di non accettare quelle immagini la cui realizzazione si presume rechi danno a Le Scienze e di assegnare i premi secondo il suo giudizio tecnico e culturale. Il parere della giuria sarà insindacabile.

VINCITORI

I vincitori saranno contattati ai recapiti dai medesimi indicati nel coupon tramite e-mail e raccomandata A/R. I vincitori dovranno inviare per accettazione, entro e non oltre 30 giorni dalla data di ricezione della raccomandata A/R, l'apposito modulo contenuto nella e-mail e nella raccomandata A/R ricevute, completo di sottoscrizione e corredato da copia di documento identificativo in corso di validità, al numero di fax o agli indirizzi (e-mail e postale) indicati nel modulo stesso. In caso di vincitori non rintracciabili e/o di mancato invio da parte del vincitore del modulo di accettazione del premio entro il termine stabilito e/o di revoca del premio assegnato al vincitore per insussistenza dei requisiti essenziali per la partecipazione al Concorso, subentreranno i nominativi individuati dalla giuria come riserve, nell'ordine dalla giuria stessa definito.

Per informazioni rivolgersi a:
Redazione Le Scienze: fax, 06 49823183;
e-mail, redazione@lescienze.it

Modulo di partecipazione al concorso di fotografia 2013 Le Scienze

NOME _____
COGNOME _____
DATA E LUOGO
DI NASCITA _____
RESIDENZA _____
_____
INDIRIZZO _____
(se diverso dalla residenza)

TELEFONO (**) _____
EMAIL (**) _____

TITOLO DELLA
FOTOGRAFIA _____
LUOGO E DATA
DELLO SCATTO _____

(**) dati facoltativi

Ai sensi degli articoli 13 e 23 del d.lgs.196/2003 dichiaro di aver preso atto dell'informativa relativa al trattamento dei miei dati pubblicata sul sito www.lescienze.it e liberamente acconsento:
al trattamento dei miei dati personali da parte del titolare Gruppo Editoriale L'Espresso SpA e delle società controllate e/o collegate alla controllante, per le finalità promozionali e commerciali illustrate nell'informativa

(do il consenso) ❑ (nego il consenso) ❑

alla comunicazione dei miei dati personali ai soggetti terzi indicati nell'informativa e al loro successivo trattamento per finalità promozionali e commerciali

(do il consenso) ❑ (nego il consenso) ❑

* Chi invia più di una fotografia può fotocopiare il modulo a patto che le copie siano accompagnate da almeno un coupon originale.

NH Giustiniano, Roma

SAN PIETRO È A 1.509 KM DALLA PORTA DI BRANDEBURGO.

Ma entrambi sono molto vicini ad un hotel NH.

SHORT BREAKS

848 390 210

nh-hotels.it/offerte-weekend

Quando pensi al tuo prossimo weekend, pensa a NH.

Quando pensi al tuo prossimo weekend, pensa ad un soggiorno nelle più belle città europee. Pensa ad una prima colazione, con prodotti antiOx e ad un comodo late check-out la Domenica. Pensa al servizio Wi-Fi gratis e al soggiorno gratuito dei tuoi bambini fino a 12 anni.

Short Breaks: Fino al 30% di sconto sul tuo prossimo weekend, prenota subito!

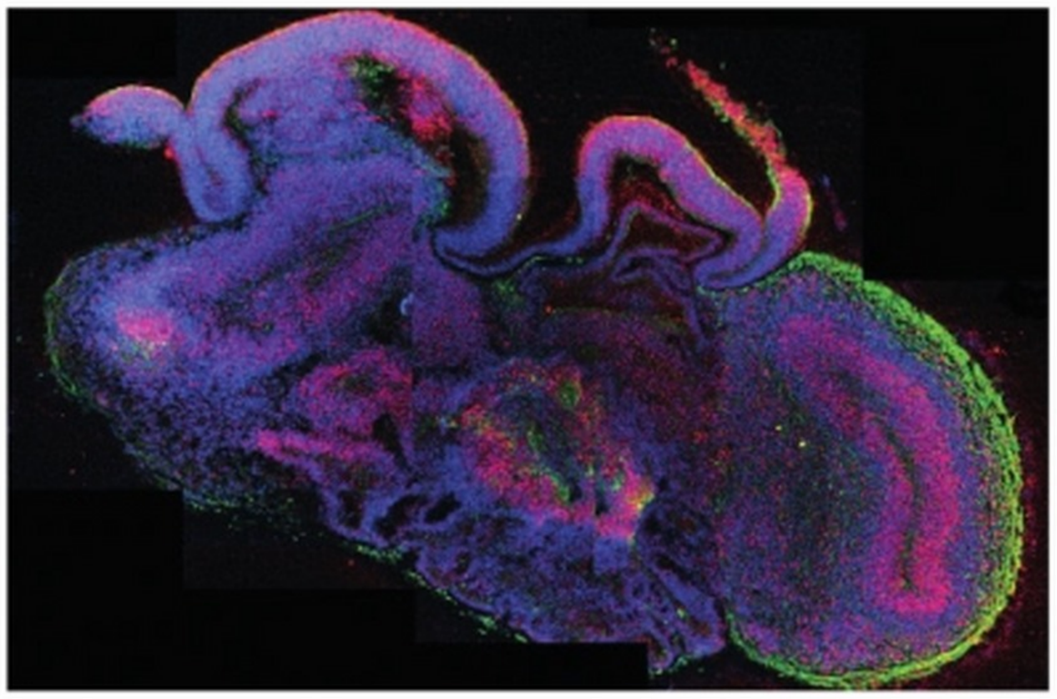
nh HOTELES

Sconto applicabile a soggiorni minimo di 2 notti, con arrivo il Giovedì, Venerdì, Sabato o Domenica. Promozione soggetta a disponibilità. La tariffa include soggiorno, prima colazione, late check-out (solo la Domenica, entro le 17.00). Tariffa prepagata non rimborsabile. Gratis per i bambini sotto i 12 anni, se soggiornano con adulti.

a cura di Giovanni Spataro

Un quasi-cervello in provetta

Ottenuta una struttura tridimensionale di tessuto cerebrale utile come modello



Le neuroscienze hanno a disposizione un nuovo modello per il cervello. Non un versione virtuale dell'organo, ma una struttura tridimensionale di qualche millimetro di tessuto cerebrale, chiamata organoide (*nella foto*). Come descritto su «Nature», Juergen Knoblich, dell'Istituto di biotecnologia molecolare di Vienna, ha ottenuto l'organoide usando staminali pluripotenti indotte, cioè cellule adulte riprogrammate per comportarsi da staminali, nutrienti per stimolare lo sviluppo del tessuto cerebrale e un'apposita impalcatura. Il modello *in vitro* di Knoblich ha sviluppato piccole regioni cerebrali in grado influenzarsi tra loro e ha anche generato una struttura modello per la microcefalia partendo da cellule adulte di un soggetto con questa condizione. L'organoide quindi si candida a strumento per lo studio di malattie neurologiche (si veda *Malattie in provetta*, in «Le Scienze» n. 513, maggio 2011).

Eredità dai cugini?

Per la pelle. Alcuni degli strumenti neanderthaliani per la lavorazione della pelle trovati nel sito francese di Abri Peyrony.

Il puzzle delle relazioni tra la nostra specie, *Homo sapiens*, e quella dei cugini Neanderthal, *Homo neanderthalensis*, può contare su un nuovo, importante tassello. In due siti neanderthaliani francesi, Abri Peyrony e Pech-de l'Azé I, sono stati scoperti strumenti standardizzati in osso utili a lavorare la pelle e descritti sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da ricercatori del Max-Planck-Institut di Lipsia, dell'Università di Leida e dell'Università di Bordeaux.

In passato la tecnica di produzione e l'uso di questi strumenti ossei erano stati associati solo a esseri umani moderni. Tuttavia la datazione dei reperti scoperti in Francia, 50.000 anni fa, suggerisce che questa innovazione non sia stata mutuata da *H. sapiens*. I nostri diretti antenati sono arrivati per la prima volta in Europa circa 40.000 anni fa, quindi i Neanderthal di Abri Peyrony e Pech-de l'Azé hanno elaborato da soli questa tecnologia (si veda *I Neanderthal pensavano come noi?*, in «Le Scienze» n. 504, agosto 2010). Ma c'è di più, come osserva Marie Soressi, del Max-Planck-Institut di Lipsia: «A quanto ne sappiamo, gli esseri umani moderni sono arrivati in Europa avendo a disposizione solo la tecnologia per la produzione di strumenti in osso a punta». Quindi potremmo essere stati noi a copiare i Neanderthal e non il contrario.

Iato climatico

Da una decina d'anni la temperatura media della Terra non aumenta, a fronte di una crescita della concentrazione atmosferica di gas serra. Per qualcuno questo sfiderebbe il modello in cui il riscaldamento globale è causato proprio dai gas serra emessi dalle attività umane.

Ma gli addetti ai lavori sanno bene che il sistema climatico è complicato da modellizzare, quindi sono alla ricerca di spiegazioni coerenti con il quadro già consolidato dal punto di vista scientifico, in cui i gas serra sono la forzante principale del riscaldamento (si veda *La fisica del cambiamento climatico*, in «Le Scienze» n. 472, dicembre 2007). Su «Nature», Shang-Ping Xie, dell'Università della California a San Diego, ha attribuito questa assenza di riscaldamento, o iato, al raffreddamento delle acque superficiali tropicali dell'Oceano Pacifico. In particolare Xie ha dimostrato che lo iato attuale è parte della variabilità naturale del sistema climatico ed è legato al fenomeno di raffreddamento decennale delle acque conosciuto come La Niña. È solo questione di tempo, la temperatura della Terra tornerà a crescere.

Dallo spazio. L'Oceano Pacifico in una foto del satellite Terra della NASA in orbita attorno al nostro pianeta.

Un minuto di blackout totale

Negli anni novanta un gruppo di ricerca aveva rallentato un fascio di luce in un gas freddo ad appena 17 metri al secondo, contro i circa 300.000 chilometri al secondo che la radiazione elettromagnetica percorre nel vuoto. Poi, nel 2001, altri scienziati avevano addirittura fermato la luce per una frazione di secondo (si veda *Fermare la luce*, in «Le Scienze» n. 396, agosto 2001).

Lo stop ai fotoni è utile in diversi ambiti tecnologici, dalle comunicazioni ottiche ai computer quantistici. Ora sulle «Physical Review Letters», Greg Heinze, della Technische Universität di Darmstadt, ha dimostrato di aver bloccato un fascio di luce per 60 secondi, un blackout da record. Il risultato è stato ottenuto intrappolando fotoni in cristalli normalmente opachi. In questa configurazione i cristalli hanno determinato la formazione di «onde di spin», uno stato di eccitazione collettiva degli spin atomici, che conservava memoria dei fotoni stessi. Rendendo trasparenti i cristalli, Heinze ha poi liberato i fotoni, in una conversione che si poteva ritardare fino a un minuto senza danni alle onde di spin.

Cortesia Madeline A. Lancaster (*cervello*); cortesia Abri Peyrony e Pech-de-l'Azé I Projects (*strumenti per la lavorazione delle pelli*); cortesia MODIS/Terra/NASA (*Oceano Pacifico*)

LIBERTY

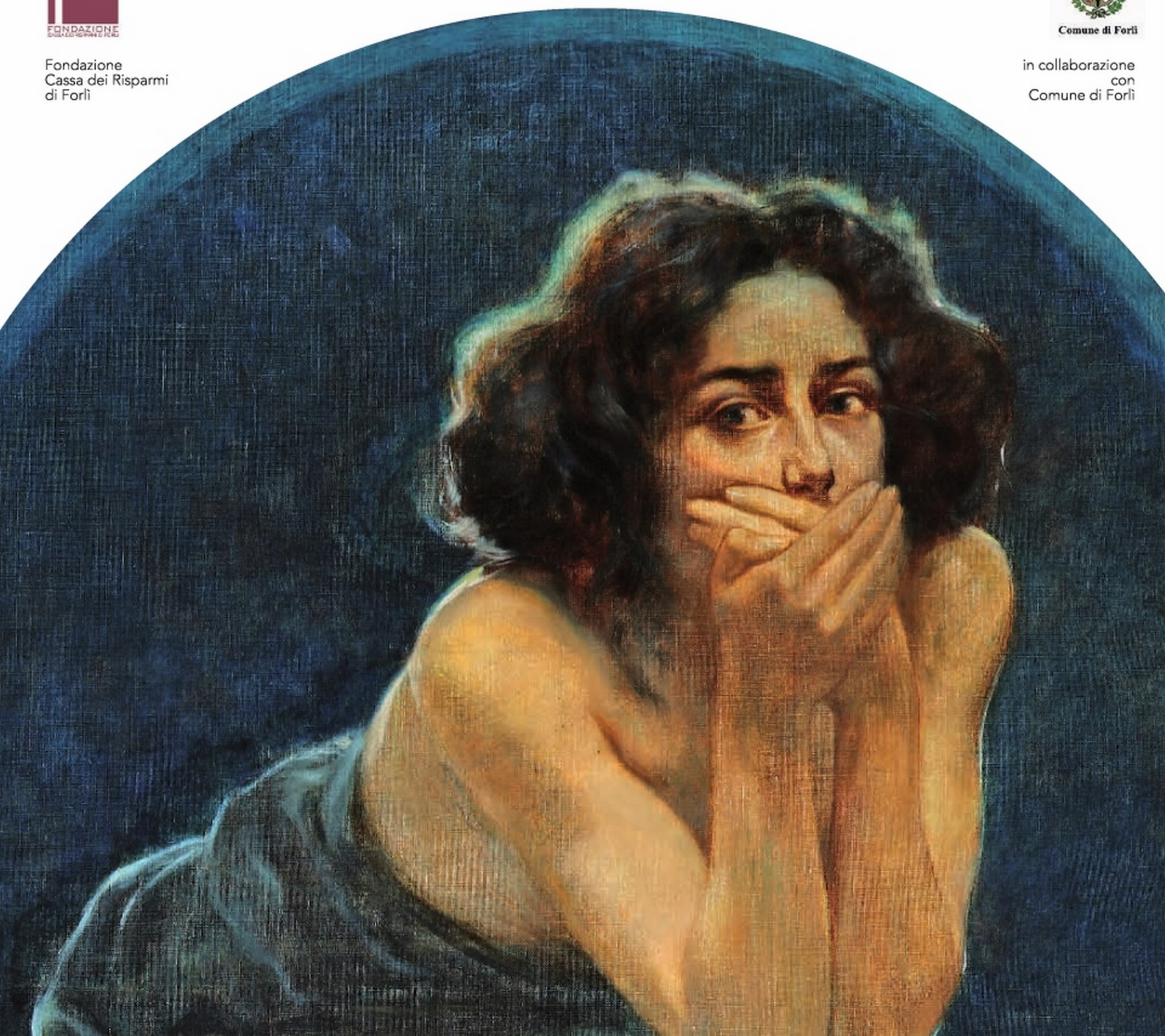
UNO STILE PER L'ITALIA MODERNA

FORLÌ Musei San Domenico 1 febbraio - 15 giugno 2014

informazioni 0543 19 12 030-031 prenotazioni servizi@civita.it catalogo SilvanaEditoriale

Fondazione Cassa dei Risparmi di Forlì

in collaborazione con Comune di Forlì

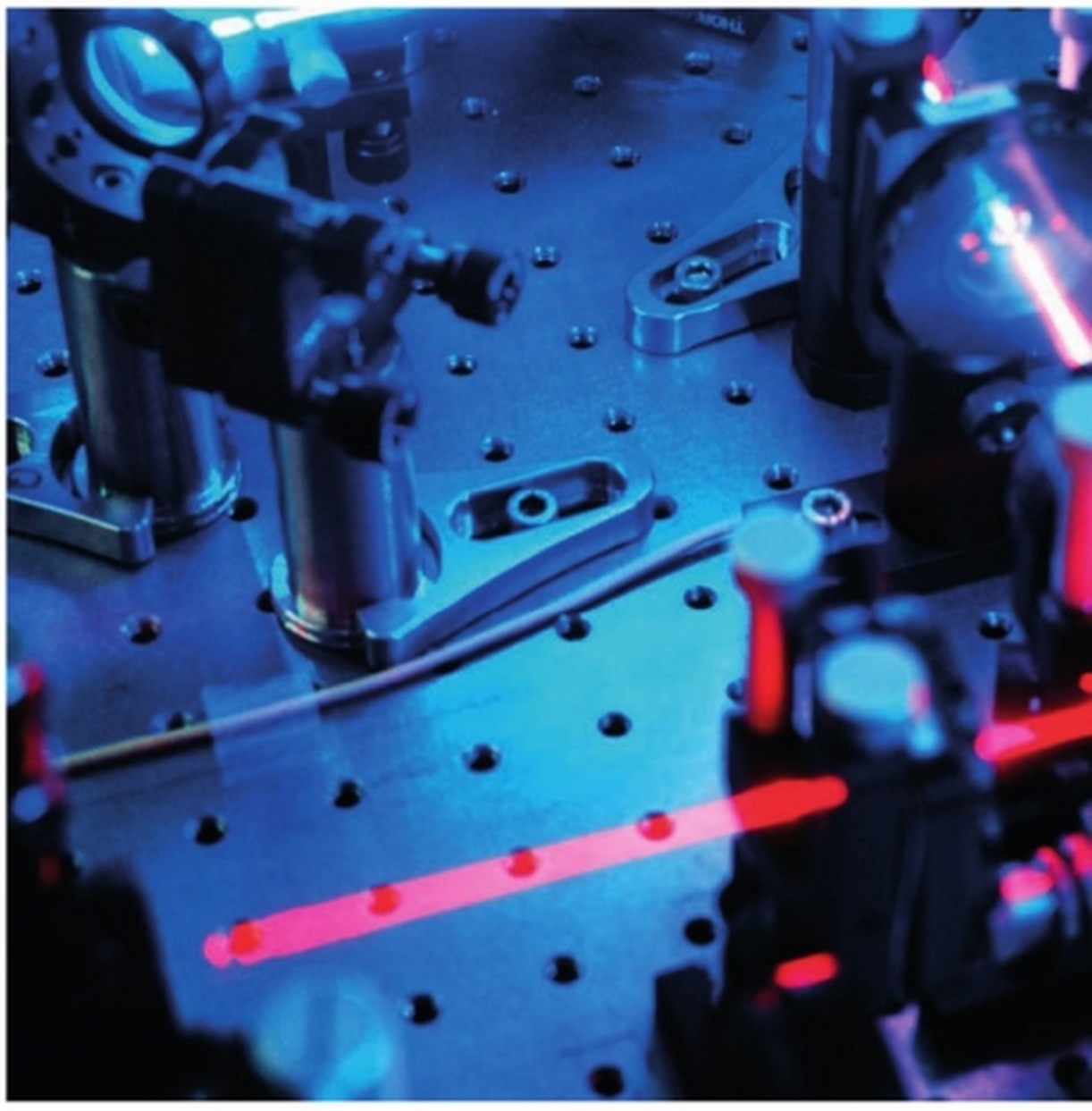


di Stefano Pisani

Ritratto di un matematico francese

Dalla teoria delle stringhe alla meccanica quantistica, Alain Connes spiega la sua visione della ricerca e come scrivere un romanzo a sfondo matematico

Tra i più importanti matematici del mondo, noto soprattutto per le sue intuizioni nel campo della meccanica quantistica, Alain Connes è uno scienziato capace di gettare ponti proficui fra matematica e fisica, e non a caso è stato tra i protagonisti del recente convegno Mathematics and Quantum Physics, svoltosi a Roma e organizzato dal Centro per la matematica e la fisica teorica. Medaglia Fields nel 1982, Connes ha anche un interesse per la divulgazione, come dimostrano l'uscita del suo romanzo a sfondo matematico *Le Théâtre quantique* e la conferenza divulgativa *The music of shapes* tenuta durante il congresso. Alto, elegante, gentilissimo, Connes parla molto velocemente, quasi a voler sempre precedere il suo interlocutore.



Lei è un matematico abbastanza «elitario», ma questa volta, con un romanzo, punta sulla divulgazione. Di che cosa parla il libro e perché ha scelto proprio questo mezzo per raggiungere il grande pubblico?

L'idea è nata da una cartolina che un giorno mi ha spedito Jacques Dixmier, il professore che mi ha seguito per la tesi. Da lì è nata una storia, un enigma, una trama che ha anche una dimensione ludica: attraverso il romanzo mostriamo la scienza vista dall'interno, raccontando le avventure di una ricercatrice eccezionale che lavora al CERN.

Ci sono tre livelli di lettura: il primo è quello di un poliziesco, il secondo è quello di una specie di iniziazione al mondo quantistico, con tutta una serie di esperimenti sulla correlazione quantistica, o *entanglement*, che contraddicono il senso comune. Il terzo, squisitamente scientifico, è il livello in cui ci confrontiamo con una nuova idea in modo più tecnico. La forma del romanzo ci ha aiutato a far passare questa idea senza dogmatismi.

Quale idea?

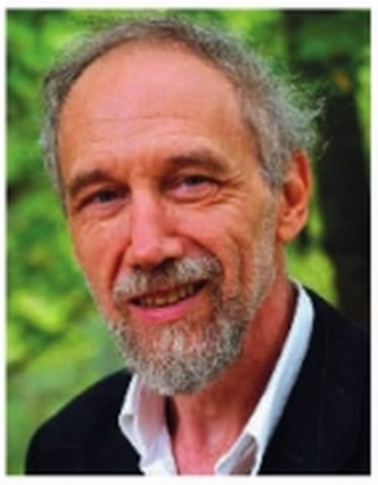
Che la sensazione dello scorrere del tempo sia un'illusione. La mente umana ha bisogno di stabilire cronologie. Tuttavia molti esperimenti ideali di meccanica quantistica poi realizzati, per esempio quello «a scelta ritardata» di John Archibald Wheeler, condotto nel 2007 in Francia dal gruppo di Alain Aspect, hanno mostrato che non sempre è possibile ricostruire il tempo del passato, e che è l'aspetto quantistico quello davvero fondamentale.

È un errore pensare che tutta la variabilità delle cose sia dovuta al passare del tempo: la tesi sostenuta nel romanzo è che c'è una variabilità più profonda, strutturale, data dall'aspetto quantistico. Il tempo è solo un fenomeno emergente, un'illusione che ha le sue radici nella variabilità quantistica.

Come traduce queste idee scientifiche nel linguaggio comune?

Creo immagini mentali, uso molte metafore. Per esempio spie-

CHI È

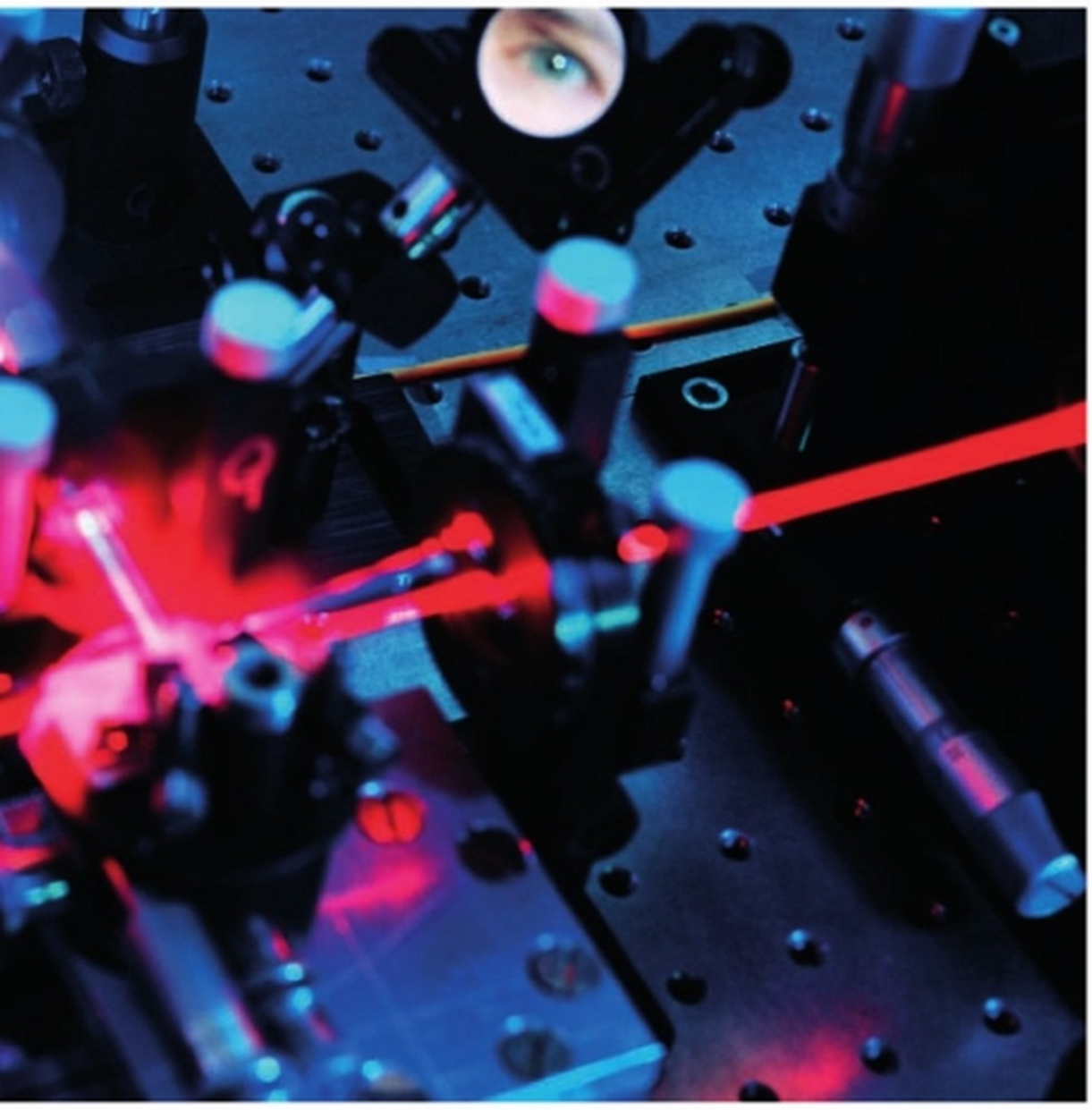


Alain Connes, classe 1947, è un matematico che lavora nel campo degli operatori algebrici e, in particolare, uno specialista di algebre di Von Neumann.
Laureato all'École Normale Supérieure di Parigi, nel 1982 ha ricevuto la medaglia Fieds per i suoi studi nell'ambito della geometria non commutativa.
Usando quest'ultima per generare le equazioni della relatività generale accoppiate alle equazioni di Yang-Mills del modello standard, Connes ha promosso una teoria unificante della meccanica quantistica e della relatività generale, un modello alternativo alla teoria delle stringhe che si pone come candidato per la cosiddetta teoria del tutto.
Per l'editore francese Odile Jacob è da poco uscito il suo romanzo poliziesco a carattere matematico *Le théâtre quantique*, scritto con la moglie Danye Chéreau e Jacques Dixmier. Attualmente è professore all'Institut des Hautes Études Scientifiques di Bures-sur-Yvette.

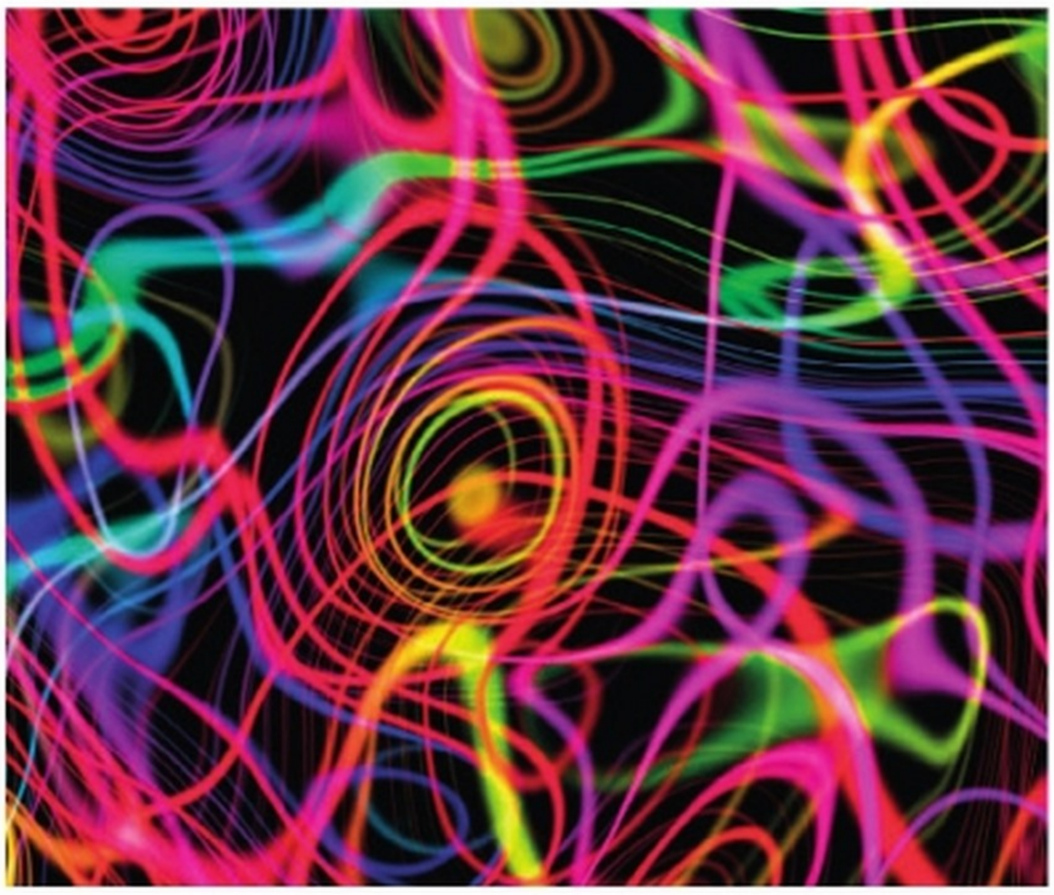
Corteaia Alain Connes (*Connes*); Volker Steger/SPL/Contrasto (*esperimento entanglement*)

go i diagrammi di Feynman con la frase: «Il reale è la sovrapposizione di tutti i possibili immaginari». Forse il lettore non capirà tutto nei dettagli, ma avrà come un'immagine poetica.

Oppure, per far capire che il tempo emerge dal quantistico, dico che se «Dio non gioca a dadi», allora «il caso quantistico è il tic-tac dell'orologio divino». Cerco di stimolare il lettore: il libro, in un certo senso, contiene più domande che risposte, ma c'è anche un glossario molto preciso per approfondire. È un libro che mi sentirei di consigliare come introduzione alla visione moderna delle teorie quantistiche.



Tra stringhe e fotoni. Apparato per l'entanglement di fotoni, uno degli ingredienti del romanzo di Connes. Sotto, un'illustrazione della teoria delle stringhe, uno degli ambiti di ricerca del matematico.



Mehau Kulyk/ /Science Photo Library/Corbis

Sentendola parlare sembrerebbe che, finalmente, il dualismo fra fisica e matematica sia stato superato.

La separazione è cominciata verso la metà del XX secolo. Per fare una battuta, spesso si dice che i matematici sono fermioni e i fisici bosoni: ovvero, in modo più esplicito, i matematici lavorano in modo isolato, mentre i fisici in gruppo. E questo forse è vero anche oggi.

C'è da dire che in passato c'è stata una forte tendenza da parte di molti matematici a ignorare completamente la fisica. I fisici che si occupano di teoria delle stringhe, invece, fanno molta matematica. Tuttavia i fisici sperimentali diffidano abbastanza della matematica. Da parte mia, non c'è mai stata una vera dicotomia. Una cosa che comunque unisce le due comunità è l'uso ormai estremamente diffuso della simulazione al computer. E questa è una base su cui ritrovarsi.

E sul rapporto tra matematica e musica, qual è il suo approccio?

Si sa che ogni forma geometrica ha una sua scala musicale associata, ovvero l'insieme delle frequenze proprie. Noi matematici le vediamo come lo spettro della radice quadrata dell'operatore di Laplace legato a quella forma. Si può porre però il problema inverso: data una scala, è possibile ricostruire la forma dell'oggetto che la sta producendo?

Come scriveva il matematico Marc Kac negli anni sessanta, *Can one hear the shape of a drum?*, si può sentire la forma di un tamburo? Oppure, con altre parole, facendo risuonare una membrana elastica attaccata per i bordi a un perimetro piano, possiamo dedurre la forma del bordo che la tiene?

Ed è possibile?

La risposta è no. Ci sono tamburi diversi a cui è associata la stessa scala. La cosa interessante, però, è che se ascoltiamo «accordi» suonati con un determinato oggetto allora possiamo dedurne la forma. Due oggetti con lo stesso spettro, ma forma diversa, non avranno gli stessi accordi.

Ora, esplorando le scale prodotte dalle varie forme geometriche ci si accorge subito che le figure geometriche elementari danno scale poco interessanti, di tipo aritmetico: lo spettro cresce linearmente o, in dimensione 2, quadraticamente. E la musica, almeno la nostra scala a temperamento equabile, è invece basata su scale, o spettri, che consistono nella successione di potenze intere dello stesso numero reale, del tipo q^n, con $q = 2^{1/12}$.

Ma allora da quale oggetto può essere rappresentata la nostra musica?

A causa della crescita esponenziale di questa scala, certamente non può essere alcun oggetto familiare, e deve anzi avere una dimensione nulla. C'è una figura geometrica che ha esattamente questo spettro, ed è la sfera quantistica trovata da Poddles, Brain e Landi. Questo oggetto zero-dimensionale ha uno spettro che corrisponde precisamente alla nostra scala temperata. Se esistesse nella nostra realtà, non avrebbe bisogno di nessuna accordatura, e permetterebbe automaticamente le trasposizioni in qualsiasi tonalità.

Il mio contributo è stato mostrare il collegamento di questo oggetto con la musica, e illustrare il motivo per cui è così adatto a questo scopo. E trovo affascinante che queste geometrie siano anche legate così strettamente con le idee che permettono di capire la fisica dell'universo.

di Letizia Gabaglio

Globuli rossi con farmaci

EryDel è specializzata nello sviluppo di farmaci e sistemi diagnostici veicolati attraverso i globuli rossi grazie a una tecnologia medica proprietaria

Nelle università italiane ci sono molte eccellenze, ma solo poche hanno il potenziale per diventare delle idee di successo anche fuori dagli atenei. Una di queste è la ricerca nel campo dei globuli rossi usati come traghettatori di medicinali e diagnostici, in termini medici lo studio delle tecnologie di *delivery* grazie agli eritrociti. L'eccellenza è all'Università di Urbino, dove Mauro Magnani, professore di biochimica e direttore del Centro di biotecnologie, da anni guida un gruppo di ricerca conosciuto in Italia e all'estero per la qualità del suo lavoro. Da quei laboratori possono uscire dati e scoperte degni di essere pubblicati sulle riviste scientifiche più importanti, ma anche un prodotto da portare sul mercato.

L'intuizione è dello stesso Magnani, che insieme a Luigia Rossi, ricercatrice sempre all'ateneo di Urbino, nel 2007 decide di fondare EryDel, azienda che a cinque anni dalla sua nascita ha messo a punto un sistema innovativo che ha visto il riconoscimento sia negli Stati Uniti sia in Europa come trattamento per una malattia orfana, l'atassia-teleangectasia (AT). L'idea di Magnani è usare una proprietà dei globuli rossi per incapsulare al loro interno farmaci e diagnostici: in condizioni di ipotonia, gli eritrociti aprono i pori della membrana e consentono l'accesso all'interno di piccole molecole o di proteine. In condizioni di ipertonia, invece, i pori si richiudono ripristinando le funzionalità dei globuli rossi.

«Il nostro prodotto leader è un dispositivo medico con marchio CE che consente di eseguire questa operazione direttamente sul sangue prelevato al paziente», spiega Luca Benatti, amministratore delegato dell'azienda. «La procedura è automatizzata e sicura, al termine della quale si ottiene una sacca di sangue che contiene il farmaco pronto per essere infuso nel paziente». Benatti è arrivato in EryDel da pochi mesi, dopo aver fondato e portato a maturazione un'altra azienda biotecnologica: Newron, quotata alla Borsa di Zurigo e prossima a sottoporre alle autorità regolatorie internazionali una richiesta di commercio di un farmaco anti-Parkinson nato dalla ricerca italiana. Portata a maturazione l'operazione Newron, Benatti ha trovato stimolante la sfida di EryDel e ha deciso di dedicarsi allo sviluppo del suo progetto industriale.

Minori effetti collaterali

Il primo farmaco che EryDel ha in sviluppo è un noto corticosteroide usato nel trattamento delle malattie croniche infiammatorie, il desametasone sodio fosfato (DSP): il sistema EryDex consente di far arrivare il medicinale dentro l'organismo, dove viene rilasciato lentamente, nel corso di un mese. «La tecnologia sfrutta la presenza all'interno dell'eritrocita di alcuni enzimi, chiamate fosfatasi. La forma "fosfato" di questa molecola, infatti, farebbe sì che una volta intrappolato non riesca più a uscire, ma gli enzimi tagliano il fosfato e il farmaco riesce così a uscire poco alla volta», spiega ancora Benatti. I vantaggi di questo metodo sono soprattutto in termini di minori effetti collaterali, come hanno dimostrato le oltre 2500 procedure eseguite su soggetti con malattia di Crohn, colite ulcerosa e fibrosi cistica. Nel caso dell'atassia-teleangectasia, una malattia genetica rara che porta alla completa paralisi e a un grave deficit neurologico, come spesso accade nella

LA SCHEDA

EryDel

Fatturato
61.000 euro

Investimenti in ricerca
1200 euro

Dipendenti/collaboratori
8, di cui 6 impiegati in ricerca e sviluppo

Brevetti rilasciati
1 brevetto concesso; 4 domande di brevetto

Come funziona. La procedura di EryDel prevede il prelievo di sangue poi trasferito in sacche per essere infine trattato in un dispositivo (*a fronte*) che arricchisce i globuli rossi (*sotto*) di farmaci.

Micro Discovery/Corbis

Cortesia EryDel (*dispositivo*); Adam Gault/SPL/Corbis

ricerca è arrivata una scoperta casuale: gli effetti positivi del trattamento con un corticosteroide orale su un paziente.

Per verificare l'ipotesi che EryDex potesse essere usato anche in questo caso è stato effettuato uno studio pilota di sei mesi su 22 pazienti che hanno ricevuto una volta al mese il trattamento EryDex. I risultati sono stati così buoni – con miglioramento del deficit neurologico associato alla malattia ma, diversamente dalla terapia con corticosteroide orale, senza effetti collaterali – che Food and Drug Administration statunitense e Agenzia europea dei medicinali hanno dato la designazione come farmaco orfano, e per questo potrà avvantaggiarsi di un percorso di approvazione più breve. Nel frattempo alcuni pazienti che hanno partecipato allo studio hanno ottenuto di continuare a ricevere il trattamento in via compassionevole e sono arrivati ora a 18 mesi di terapia.

Non solo farmaci

Sull'onda dei risultati ottenuti con l'AT, i ricercatori di EryDel si sono interessati ad altre malattie orfane, caratterizzate da deficit di enzimi. «Per esempio abbiamo studiato la sindrome fenilchetonurica, una malattia rara caratterizzata dalla mancanza dell'enzima fenilalanina idrossilasi», va avanti Benatti. L'approccio standard, che si basa sulla somministrazione dell'enzima mancante per via parenterale, stimola però la risposta immune dell'organismo, riducendone i benefici. «Abbiamo quindi pensato che se l'enzima è nascosto dentro i globuli rossi è di fatto inattaccabile dal sistema immunitario e così abbiamo condotto una prova su un modello transgenico», dice l'amministratore delegato. Risultato: funziona. L'enzima svolge la sua funzione detossificante e il sistema immunitario non può attaccarlo perché è protetto dall'eritrocita. Ora non resta che passare allo studio sugli esseri umani.

Ma i globuli rossi possono traghettare anche diagnostici, non solo farmaci. L'idea è ancora più ambiziosa delle prime due, ma i ricercatori dell'Università di Urbino diretti da Magnani, insieme a un colosso dell'elettronica come Philips, ci credono. E così lavorano a un nuovo approccio di *imaging* basato sull'introduzione negli eritrociti di nanoparticelle super-paramagnetiche. «Siamo ancora agli inizi, ma si tratta di un campo davvero innovativo», conclude Benatti. L'eccellenza non solo si è trasformata in un prodotto, ma promette di trasformare le vite di tutti.

di Telmo Pievani
è professore associato di filosofia delle scienze biologiche dell'Università degli Studi di Padova

L'evoluzione opportunista

Uno studio sulle reti metaboliche fornisce nuove prove a favore dell'exaptation

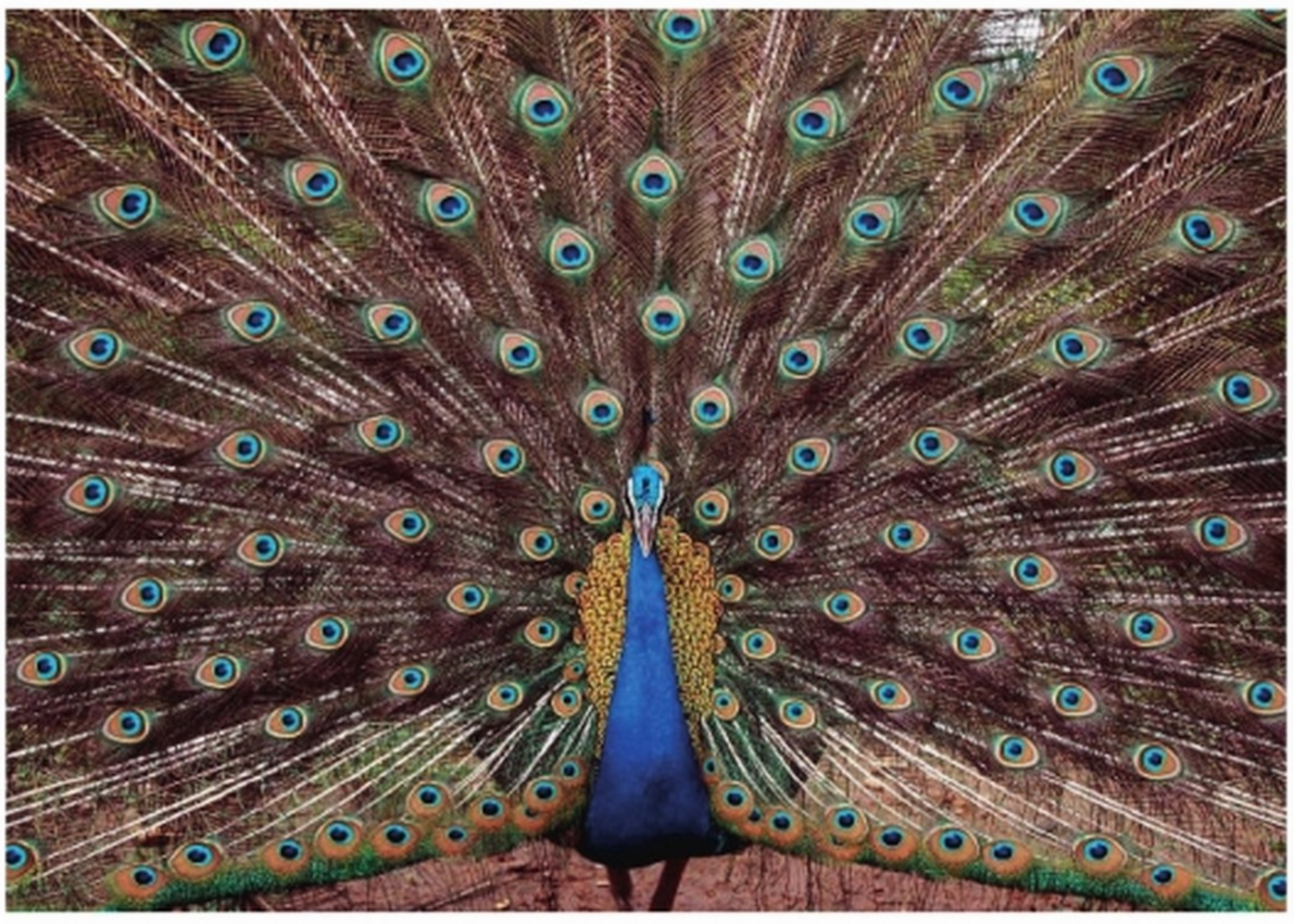
In italiano, «opportunista» rimanda alla furbizia di chi si adegua alle circostanze. Nell'evoluzione, invece, trarre vantaggio da ciò che si ha a disposizione potrebbe essere il segreto dell'innovazione. Lo si era dedotto da una serie di scoperte riguardanti la filogenesi animale: le dita emersero nei tetrapodi basali (fra i quali vi erano gli antenati di anfibi e rettili) molto prima che questi occupassero stabilmente la terraferma; le penne e le piume comparvero nei dinosauri teropodi ben prima che alcuni di questi iniziassero a volare (compreso il celebre *Archaeopteryx*). Mani prima di camminare e penne prima di volare: come è possibile?

Per capirlo occorre liberarsi dall'idea che un certo tratto, oggi utile nell'assolvere una funzione, debba necessariamente essersi sviluppato come un «adattamento per» quella funzione. La sua comparsa potrebbe essere dovuta a una pressione selettiva differente, o a un effetto collaterale, o a un vincolo di sviluppo. Ecco perché l'evoluzione è opportunistica: alla bisogna, riutilizza il materiale disponibile convertendolo per nuove funzioni. Nulla di intenzionale, ovviamente. È il processo di selezione ad agire in modo economico: è meno costoso riadattare ciò che già esiste, piuttosto che costruire una struttura da zero.

Di recente su «Nature» uno studio computazionale realizzato dal gruppo di Andreas Wagner e Aditya Barve dell'Università di Zurigo ha mostrato una notevole flessibilità nascosta nelle reti metaboliche, rilanciando l'idea che in natura la cooptazione funzionale di strutture già esistenti sia molto diffusa. Nel titolo dell'articolo viene finalmente accolto, dopo tante discussioni, il neologismo *exaptation*, coniato nel 1982 dai paleontologi Stephen J. Gould ed Elisabeth Vrba. Significa «utile a partire da» (*ex-aptus*) qualcosa di già esistente e fu proposto per evitare un termine diffuso in letteratura ma dal sapore finalistico, il «pre-adattamento».

Le penne non sono «pre-adattate» a un esito futuro: la selezione naturale non è preveggente. Si rivelano semplicemente utili per essere ingaggiate in nicchie ecologiche mutevoli: dalla termoregolazione e dalla scelta sessuale, in una prima fase, al volo planato e poi al volo battuto, in una seconda fase, con differenze uniche da specie a specie nell'albero della vita. Gli *exaptation* sono di due tipi: un tratto funzionale viene cooptato per nuovi usi (il vecchio «pre-adattamento»); un tratto inizialmente non adattativo, come per esempio un vincolo strutturale, viene mantenuto e riutilizzato (in tal caso si usa l'espressione *spandrel*, pennacchio).

Già il grande evoluzionista George C. Williams, scomparso nel 2010, aveva sostenuto che in natura esistono funzioni ed effetti potenziali. Ma era stato lo stesso Darwin, nella sesta edizione dell'*Origine delle specie* del 1872, a sostenere che l'evoluzione di organi complessi, con più parti interconnesse, avviene sia attraverso l'implementazione adattativa sia attraverso ingegnose cooptazioni funzionali. Quindi utilità attuale e origine storica non sempre coincidono. Dire «le ali servono per volare, quindi si sono evolute per il volo» può essere intuitivo, ma è sbagliato.



Guardami e sceglimi. Un esempio del concetto di *exaptation* sono le penne degli uccelli, che possono avere usi diversi, tra cui quello nella selezione sessuale come nei pavoni.

Non è facile distinguere gli adattamenti classici dagli exaptation, ma alcuni criteri affidabili sono stati proposti. Con l'articolo di «Nature» capiamo che il fenomeno riguarda sia l'evoluzione morfologica sia quella biochimica (anche se per ora solo simulata) e potrebbe fare luce su un tema cruciale dei prossimi anni: le dinamiche dell'innovazione evolutiva. Il messaggio è che i sistemi biologici sono ricchi di potenziali latenti e di polifunzionalità: le reti metaboliche simulate restano capaci di sfruttare il glucosio (altrimenti la selezione le eliminerebbe prima di qualsiasi exaptation), ma possono all'occorrenza ricorrere ad almeno altre quattro risorse modificate. Il prezzo è una certa ridondanza. Ma in un mondo instabile la flessibilità fa la differenza fra la vita e la morte.

epa/Corbis

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Spazio, tempo e cervello

Un esperimento su topi alza il velo sul fenomeno della percezione del tempo

Si sa da tempo che nell'ippocampo ci sono cellule nervose specifiche, chiamate *space cell*, che registrano e memorizzano specifici riferimenti spaziali da usare in un'operazione di ricerca della strada migliore per raggiungere un traguardo. Sembra adesso che sempre nell'ippocampo ci siano anche specifiche cellule, le *time cell*, che registrano riferimenti temporali, sotto forma di intervalli di tempo trascorso.

In un'interessante serie di esperimenti riferiti da Benjamin J. Kraus e collaboratori sulla rivista «Neuron», si sono allenati topi assetati a camminare su un nastro in movimento per raggiungere dell'acqua, mentre contemporaneamente si registrava l'attività di diverse cellule piramidali del loro ippocampo. Lo scopo era distinguere cellule che registravano il tempo trascorso da quelle che registravano la distanza percorsa. Le due cose sono ovviamente legate, ma gli sperimentatori hanno fatto in modo di disaccoppiare i due parametri, cambiando ogni volta la velocità del nastro e facendoli correre un giorno per un tempo fisso e il successivo per una distanza fissa.

La maggior parte delle cellule studiate mostrava di registrare una combinazione dei due parametri, ma una minoranza sembrava particolarmente sensibile al tempo trascorso e un'altra minoranza era sensibile alla distanza percorsa. Gli autori ammettono che sia praticamente impossibile separare i due fenomeni, ma considerano seriamente la possibilità che ci sia un meccanismo dedicato alla registrazione del tempo trascorso. Questo meccanismo sarebbe a sua volta distinto da quello che permette a questi animali di operare un'integrazione fra spazio e tempo per il raggiungimento di una località a loro nota.

I due diversi meccanismi sarebbero a loro volta alla base di un «dispositivo di ricerca» che permette di percorrere «spazi mentali» interni allo scopo di ricordare un'azione passata o pianificarne una futura. Gli autori dello studio su «Neuron» ipotizzano che queste «cellule del tempo» siano parte integrante della cosiddetta memoria episodica, che ci permette di ricordare specifiche esperienze del passato.

I cervelli degli animali superiori sono anche strumenti di previsione che sfruttano il fatto che il mondo intorno a noi non è sempre imprevedibile, ma si articola spesso su eventi ripetuti. È per questo che quasi sempre ci si può basare su esperienze passate per progettare una linea d'azione. Negli invertebrati più semplici esiste una semplice relazione fra stimolo e risposta, che si succedono in un ristretto lasso di tempo. Con l'aumentare dell'organizzazione e della complessità del sistema nervoso, la distanza temporale fra uno stimolo e una risposta tende ad aumentare e a tenere conto di un numero crescente di condizioni e di condizionamenti. Occorrerà quindi probabilmente un meccanismo interno di misurazione del tempo trascorso, per dare quello che spesso viene chiamato tempo interno. Questo meccanismo potrebbe semplicemente identificarsi con il tempo necessario a certi circuiti neurali per raggiungere un certo assetto: sarebbe in sostanza un tempo circuitale insito nei meccanismi cerebrali. Di questo non si può avere ovviamente coscienza, ma potrebbe anche costituire la trama temporale del nostro vivere.

Lancette cerebrali. I riferimenti temporali sono registrati da cellule dell'ippocampo sotto forma di intervalli di tempo trascorso.

Tom Grill/Corbis

Un'appropriata combinazione di percezioni degli eventi del mondo esterno e di meccanismi segnatempo interni potrebbe alla fine darci un certo potere sulla misurazione delle durate. Ma questo non è obbligatorio; può darsi che la misura degli intervalli di tempo sia inseparabile da quella degli spazi percorsi. Non dimentichiamo a questo proposito che per Aristotele «il tempo è il numero del movimento secondo il prima e il poi».

Va da sé che negli animali esistono molti processi ciclici che si svolgono nel tempo, ma questi sono in genere automatici e non richiedono una misura della durata, se non a livello molecolare e cellulare. Non è chiaramente di questo tipo di tempo che l'articolo parla, un articolo che affronta con coraggio, se non con spavalderia, il tema secolare della percezione del tempo interno negli animali e nell'uomo.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Un teorema affogato e riemerso

Come Eulero riscoprì Cartesio traendone fama nella dottrina dei solidi

Dopo la sua morte in Svezia nel 1650, i manoscritti di Cartesio furono riportati in Francia, ma la cassa che li conteneva cadde nella Senna. Vari documenti furono salvati e asciugati, e nel 1676 Leibniz poté fare copie di alcuni di essi. In seguito i manoscritti di Cartesio andarono perduti, e le copie di Leibniz rimasero inedite. In particolare si perse traccia di un'osservazione che Cartesio aveva fatto negli *Esercizi sugli elementi dei solidi*, scritto nel 1620, e che Leibniz aveva ricopiato: si trattava del fatto che i numeri V dei vertici, L dei lati e F delle facce di un solido regolare sono legati dalla semplice relazione $V - L + F = 2$.

L'osservazione rimase inedita fino al 1860, quando fu pubblicata da Eugène Prouhet nelle *Note su un passaggio delle opere inedite di Cartesio*. Nel frattempo però era stata riscoperta nel 1750 da Eulero, negli *Elementi della dottrina dei solidi*. Egli notò che, dal punto di vista topologico, i cinque solidi regolari non sono altro che grafi sulla sfera, come si vede gonfiandoli come un pallone. E il fatto che i solidi siano regolari non è rilevante: la relazione precedente vale non solo per quei cinque grafi regolari sulla sfera, ma per tutti.

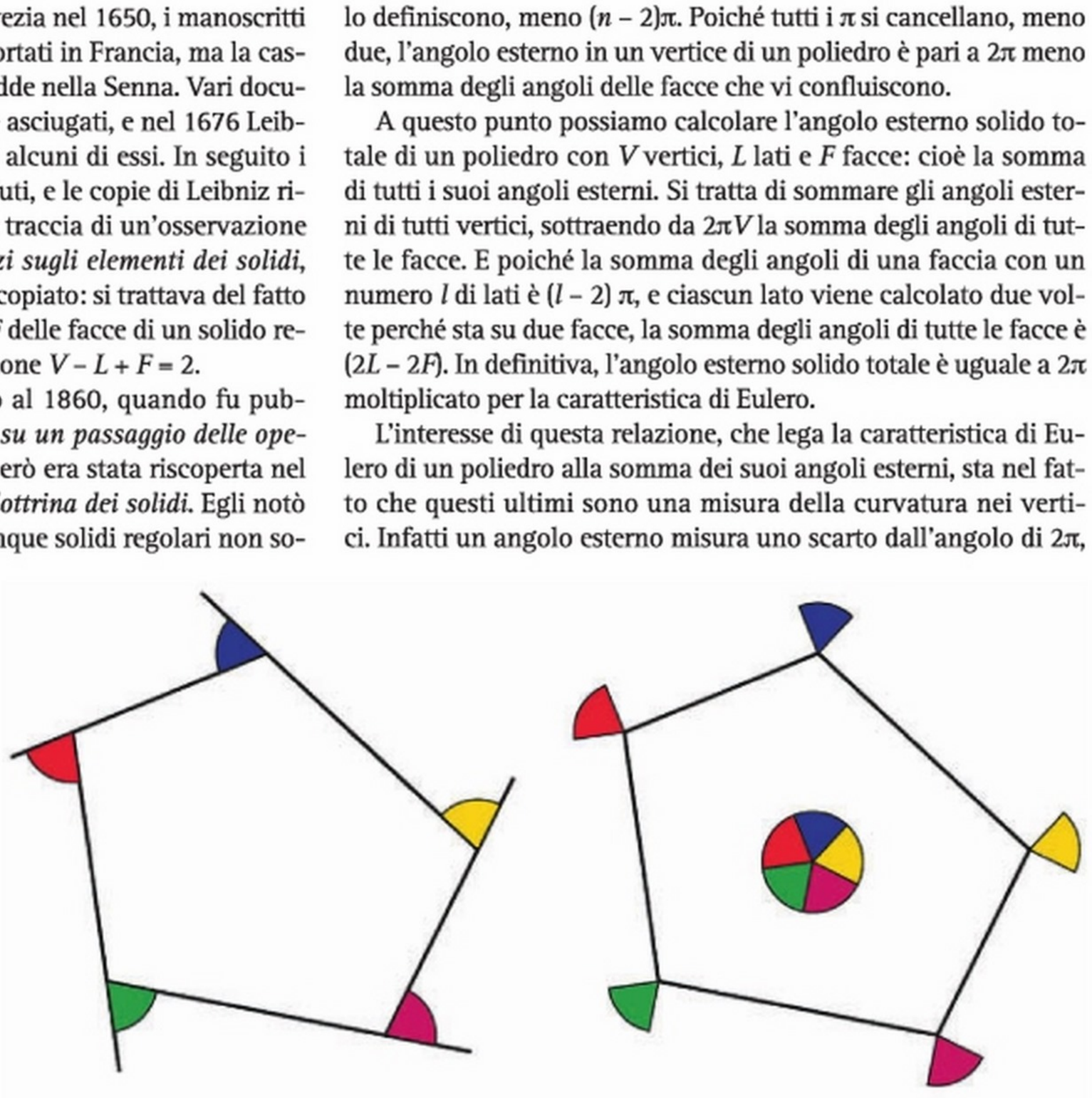
Oggi la relazione si chiama ingiustamente caratteristica di Eulero, ma si ricorda giustamente come teorema di Cartesio l'osservazione da cui egli l'aveva dedotta: il fatto che, come in un poligono convesso la somma degli angoli piani esterni è uguale a 2π, così in un poliedro convesso la somma degli angoli solidi esterni è uguale a 4π. La dimostrazione per i poligoni è semplice: basta notare che i settori circolari determinati in ciascun vertice dalle perpendicolari ai lati, formano un cerchio intero (*si veda l'illustrazione*). E la dimostrazione per i poliedri è analoga, con il cerchio sostituito dalla sfera.

In questa dimostrazione un angolo solido esterno è definito come il settore sferico determinato in un vertice dai piani perpendicolari ai lati che vi confluiscono. Essendo appunto perpendicolari ai lati, ogni coppia di questi piani forma un angolo solido che è supplementare all'angolo piano formato dai corrispondenti lati su una faccia del poliedro. Cartesio intuì allora che gli angoli solidi esterni di un poliedro si possono calcolare mediante gli angoli piani delle sue facce.

In generale, se in un vertice confluisce un numero n di facce, l'area dell'n-gono sferico corrispondente all'angolo solido esterno è uguale alla somma degli n angoli formati dagli n piani che lo definiscono, meno $(n - 2)\pi$. Poiché tutti i π si cancellano, meno due, l'angolo esterno in un vertice di un poliedro è pari a 2π meno la somma degli angoli delle facce che vi confluiscono.

A questo punto possiamo calcolare l'angolo esterno solido totale di un poliedro con V vertici, L lati e F facce: cioè la somma di tutti i suoi angoli esterni. Si tratta di sommare gli angoli esterni di tutti vertici, sottraendo da $2\pi V$ la somma degli angoli di tutte le facce. E poiché la somma degli angoli di una faccia con un numero l di lati è $(l - 2)\,\pi$, e ciascun lato viene calcolato due volte perché sta su due facce, la somma degli angoli di tutte le facce è $(2L - 2F)$. In definitiva, l'angolo esterno solido totale è uguale a 2π moltiplicato per la caratteristica di Eulero.

L'interesse di questa relazione, che lega la caratteristica di Eulero di un poliedro alla somma dei suoi angoli esterni, sta nel fatto che questi ultimi sono una misura della curvatura nei vertici. Infatti un angolo esterno misura uno scarto dall'angolo di 2π, che corrisponderebbe a un appiattimento delle facce su un piano: maggiore lo scarto, maggiore la curvatura nel vertice. Quanto all'angolo esterno totale, esso misura dunque la curvatura totale del poliedro.



Il teorema di Cartesio si può estendere, con un passaggio al limite, a ogni superficie che si possa approssimare a piacere con poliedri, cioè a ogni superficie chiusa e connessa. In tal caso esso diventa un corollario del cosiddetto teorema di Gauss e Bonnet, dimostrato da Gauss nelle *Disquisizioni generali sulle superfici curve* del 1827, e da Pierre Bonnet nella *Memoria sulla teoria generale delle superfici* del 1848. E lega la caratteristica topologica di Eulero alla curvatura geometrica totale: cioè, alla somma delle curvature di tutti i punti della superficie. In particolare, tramite il teorema di classificazione delle superfici, permette di caratterizzare anche le loro possibili geometrie.

OTTOBRE MESE DELLA PREVENZIONE
DEL TUMORE AL SENO

Dedicato a tutte le donne.

Pink is **GOOD**

Da 10 anni la **Fondazione Umberto Veronesi** lavora per promuovere la prevenzione del tumore al seno e sostenere attivamente la Ricerca perché sia in grado di sconfiggere questa terribile malattia.
Oggi tutto questo si chiama *Pink is* **GOOD**. È il nome del progetto che vogliamo condividere durante questo mese speciale tutto al femminile.

INFORMATI su **pinkisgood.it** troverai tutto quello che devi sapere sulla prevenzione e sui migliori centri di cura nazionali.

SOSTIENI il lavoro di 10 ricercatrici specializzate sul tumore al seno facendo una donazione online su www.pinkisgood.it e acquistando i prodotti che espongono il marchio Pink is Good

www.pinkisgood.it

Per sconfiggere il tumore al seno scegli la prevenzione e sostieni la ricerca.

Fondazione Umberto Veronesi
PER IL PROGRESSO DELLE SCIENZE
10 ANNI
www.fondazioneveronesi.it

www.pinkisgood.it

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Trento
www.robertobattiston.it

Il problema delle tute spaziali

La tecnologia delle tute attuali è datata e inadatta per missioni interplanetarie

L'incredibile avventura di Luca Parmitano, che nel corso della sua seconda passeggiata spaziale ha letteralmente rischiato di annegare in orbita, è una formidabile lezione su quali siano le sfide dell'esplorazione umana dello spazio. Il problema del versamento di liquido nel casco non era stato trascurato dai progettisti: una valvola che mette in contatto l'interno con l'esterno permette, se attivata manualmente dall'astronauta, di svuotare il casco espellendo il liquido mescolato con l'aria.

Si tratta però di un problema molto difficile da studiare e simulare sulla Terra, dove l'acqua non fluttua, come nello spazio, attorno alla testa dell'astronauta, entrando nella bocca e nel naso a causa del respiro. Aprire un collegamento tra l'interno della tuta e il vuoto assoluto è, comprensibilmente, un'azione che si cerca di evitare, perché con l'acqua se ne va anche l'aria, con tempi e modalità difficili da controllare, specie in condizioni di emergenza. Inoltre l'acqua esposta al vuoto dello spazio gela istantaneamente, per cui il rischio di otturazione della valvola è concreto.

L'analisi dell'incidente è ancora in corso, ma l'attenzione degli ingegneri della NASA è puntata su un componente del circuito di raffreddamento ad acqua della tuta, posto vicino alla testa dell'astronauta. Tutto farebbe pensare a un difetto che si sia sviluppato a causa dell'uso prolungato della tuta, che si trova sulla Stazione spaziale internazionale (ISS) dal 2011. In effetti nulla del genere era mai successo nelle precedenti 153 passeggiate spaziali effettuate nel corso della costruzione della ISS: si tratta quindi di un problema che si presenta in meno dell'1 per cento dei casi, molto difficile da identificare ma non per questo meno pericoloso.

La tuta spaziale è a tutti gli effetti una piccola astronave costruita attorno all'astronauta: qualche centimetro di spessore separa la pressione atmosferica dal vuoto, la temperatura corporea dalle temperature estreme dello spazio. Si tratta di una tecnologia fantastica ma datata, che permette agli astronauti, sia pure con notevole impaccio, di destreggiarsi attorno alla Stazione e svolgere interventi complessi la cui durata supera talvolta le otto ore, garantendo la giusta atmosfera, temperatura e umidità, assorbendo il calore e i fluidi corporei. Ma impedendo loro un certo numero di gesti tanto elementari da essere considerate ovvi: per esempio non ci si può soffiare il naso, grattarsi, stropicciarsi gli occhi oppure detergere una goccia di sudore.

A causa del casco, la testa è isolata dal resto del corpo: problemi normalmente trascurabili possono diventare intollerabili. Ogni astronauta, poi, è isolato dagli altri ed è difficile prestarsi soccorso se qualcosa va storto. La tuta spaziale è a sua volta fragile: può essere facilmente perforata da un micrometeorite, evento per fortuna molto raro. Può però tagliarsi se striscia contro qualcosa di affilato: tutti i pezzi della struttura esterna della ISS sono costruiti apposta per evitare parti acuminate, ma l'impatto dei micrometeoriti ha prodotto alcuni graffi molto taglienti sulla a struttura della ISS che hanno danneggiato, anche gravemente, i guanti degli astronauti.

Progettata come una piccola astronave attorno all'astronauta (*nella foto, Luca Parmitano*), la tuta lo protegge ma al tempo stesso lo imprigiona, impedendo gesti anche molto banali.

È chiaro che per missioni su pianeti lontani l'affidabilità delle tute deve essere maggiore. L'incidente di Luca è stato risolto in circa 15 concitati minuti, in cui la comunicazione con la base di Houston, la vicinanza del boccaporto d'ingresso e l'aiuto degli altri astronauti sono stati determinanti per evitare il peggio. Ma che cosa sarebbe successo nel corso di un'esplorazione su Marte, dove la comunicazione con la Terra impiega 20 minuti e gli astronauti dovranno lavorare autonomamente per svariate ore anche a distanze significative dalla base, naturalmente sempre protetti dalle loro tute spaziali?

NASA

FAI
Fondo
Ambiente
Italiano

IL GIOCO DEL LOTTO

FAIMARATHON

CON **IL GIOCO DEL LOTTO** E IL **FAI**, L'UNICA MARATONA CHE SI CORRE CON GLI OCCHI.

DOMENICA 13 OTTOBRE 2013
IN TUTTA ITALIA

La **FAIMARATHON** è una meravigliosa passeggiata attraverso strade e monumenti, per riscoprire di tappa in tappa la bellezza dimenticata dei luoghi della nostra vita quotidiana.

Scopri la città più vicina a te e iscriviti su www.fondoambiente.it
o scarica gratuitamente l'App "FAIMARATHON"

CON IL PATROCINIO DI | Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo | Rai Segretariato Sociale

La manifestazione si svolge nell'ambito della campagna di raccolta fondi FAI "Ricordati di salvare l'Italia"

IO LOTTO PER UN'ITALIA PIÙ BELLA. TU CHE FAI?

Partecipa al sondaggio su www.facebook.com/ilgiocodellotto - www.giocodellotto.it Lottoeventi

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Una differenza di principio

Il particolare sviluppo encefalico di *H. sapiens* si imposta nel primo anno di vita

Accade tutto in un anno, il primo. Di recente alcuni ricercatori del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia (uno dei centri leader al mondo) hanno dimostrato che ciò che più fa la differenza tra il modello di accrescimento e sviluppo di *Homo sapiens* e quello dei nostri fratelli estinti, i Neanderthal (*Homo neanderthalensis*), si basa su ciò che avviene fra la nascita e il compimento del primo anno di vita. Hanno anche trovato che qualcosa del genere è vero nel confronto con i nostri parenti non umani più prossimi, gli scimpanzè.

Parliamo fondamentalmente di morfologia del cranio e del suo prezioso contenuto encefalico, rappresentato da quello che gli addetti ai lavori chiamano *endocast* (un oggetto che ci restituisce la forma del cervello, ma come velato dalle meningi). L'argomento è vasto e, al tempo stesso, cruciale per capire quello che davvero ci rende umani, o meglio: che ci rende specificamente *Homo sapiens*; con tutte le nostre prerogative, soprattutto in termini di pensiero simbolico e autoconsapevole, nonché di apprendimento, linguaggio e cultura.

Un tempo affrontare questo tema attraverso un approccio *evo-devo* – cioè combinando il percorso evolutivo (*evolution*) con conoscenze su accrescimento e sviluppo (*development*) anche nelle forme estinte – era ritenuto impensabile sulla base di una documentazione fossile che per sua natura è parziale e lacunosa. È stato ora reso possibile dagli straordinari sviluppi avuti nel corso degli ultimi vent'anni in materia di manipolazione e analisi di dati digitali (quelli derivati dalla tomografia computerizzata, per esempio), da diversi altri aspetti metodologici e, non da ultimo, dalla scoperta di nuovi reperti.

Per la ricerca di cui parliamo è stato determinante poter disporre di fossili di neonati neanderthaliani: i ricercatori hanno usato il cranio Le Moustier 2, trovato in Francia, e quello di Mezmaiskaya, proveniente dal versante russo del Caucaso; sono inoltre stati presi in esame altri fossili della specie umana estinta e un numero consistente di confronti moderni, esaminati in varie fasi di accrescimento e sviluppo encefalico fino all'età adulta. La ricostruzione virtuale delle fragili e frammentarie ossa dei neonati di Neanderthal, combinata con sofisticate analisi morfometriche e statistiche dell'intero campione in studio hanno poi fatto il resto. Ne è risultato un andamento della crescita molto simile fra Neanderthal e uomini moderni a partire dal secondo o terzo anno di vita, mentre è emerso un modello di sviluppo vistosamente diverso nel primo anno.

Sappiamo che i crani adulti delle due specie e i loro rispettivi endocast differiscono non tanto per dimensioni quanto per forma: bassa, allungata ed espansa posteriormente nei Neanderthal, tondeggiante nel nostro caso. D'altra parte, se il cranio di un neonato Neanderthal differisce da uno della nostra specie in caratteri della faccia, i piccoli delle due specie sono invece piuttosto simili per forma e dimensioni proprio della volta cranica e del suo contenuto. Quando si instaura allora la differenza che osserviamo negli adulti?

Da grandi. Le differenze tra il cranio dei Neanderthal (*a sinistra*) e quello umano moderno sono note da tempo: nella faccia, ma anche nella forma della scatola cranica e dell'encefalo.

I nuovi studi ci dicono che è proprio questo ciò che accade nel primo anno di vita, nel corso di una fase assente nei Neanderthal, che i ricercatori hanno definito «fase di globularizzazione». In quel periodo osserviamo il cranio del neonato di *H. sapiens* trasformarsi dal punto di vista architetturale: da allungato che era (come un Neanderthal) raggiunge in pochi mesi quella forma tondeggiante che ci è propria. Evidentemente nel primo anno di vita svolgono un ruolo decisivo geni regolatori della crescita e un probabile rilassamento di vincoli strutturali. Ma qui il discorso si complica, e ci porterebbe lontano: magari lo affrontiamo un'altra volta.

John Reader/SPL/Contrasto

Y&R

Oggi puoi leggere
Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

10000x SE 8.3 — 2 µm — 30.0 kV 1.0

le scienze.it

PER CHI AMA LA SCIENZA, SARÀ LA PIÙ GRANDE SCOPERTA.

Y&R

LESCIENZE.IT IL SITO TUTTO NUOVO CHE OFFRE UN QUADRO AMPIO, AGGIORNATO E APPROFONDITO SUL MONDO SCIENTIFICO.

L'edizione italiana di "Scientific American" è online con un nuovo sito, arricchito da un notiziario scientifico, dalle pubblicazioni dei ricercatori italiani nel mondo e da una grafica chiara e accattivante. Un punto di riferimento prezioso, per essere sempre aggiornati su tutte le ultime scoperte e ricerche. In più, per chi si abbona alla rivista cartacea, il vantaggio esclusivo di poter consultare senza limiti l'intero archivio di articoli della rivista, dal 1968 ad oggi. Con Le Scienze, nasce un sito tutto da scoprire.

ABBONATI A "LE SCIENZE" E AVRAI ACCESSO A TUTTO L'ARCHIVIO ONLINE.

www.lescienze.it

Le Scienze

POLITICHE DELLA RICERCA

Come studiare l'influenza aviaria?

Una proposta di ricerca sul virus H7N9 scatena un dibattito sui relativi rischi

Misura antivirus. Controllo con telecamera termica di passeggeri in arrivo dalla Cina all'aeroporto internazionale di Seoul, in Corea del Sud, una delle misure per contrastare la diffusione del virus H7N9.

YONHAP/epa/Corbis

Manipolare i virus influenzali per conferire loro nuove capacità comporta qualche rischio; ma è necessario, e ci sono tutte le condizioni per farlo in sicurezza. Lo afferma un appello pubblicato su «Science» e «Nature» da 22 fra i maggiori studiosi della materia, con in testa Ron Fouchier, dell'Erasmus Medical Center di Rotterdam nei Paesi Bassi, e Yoshihiro Kawaoka, della Università del Wisconsin a Madison, negli Stati Uniti.

L'anno scorso proprio Fouchier e Kawaoka avevano scatenato un pandemonio modificando il virus dell'aviaria H5N1 per renderlo trasmissibile tra i furetti, il modello dell'infezione nei mammiferi. I loro studi avevano individuato varie mutazioni che favoriscono la trasmissione nei mammiferi, ma i pericoli di un cattivo uso delle informazioni o di fuga dei virus avevano sollevato una polemica che aveva ritardato la pubblicazione e portato a una temporanea moratoria delle ricerche.

Anche grazie a quelle informazioni, però, quest'anno è scattato l'allarme per il nuovo ceppo di aviaria H7N9 che in Cina ha contagiato oltre 130 persone uccidendone una quarantina. Le analisi genetiche hanno infatti mostrato che il nuovo virus ha già alcune mutazioni che, introdotte in H5N1, lo rendevano più trasmissibile. Il rischio pandemico è quindi ancora più alto. Grazie alle drastiche misure delle autorità cinesi l'epidemia ora è sotto controllo, ma con l'inverno potrebbe ripartire.

Ora H7N9 è stato caratterizzato a fondo, spiegano i 22, ma per capire in pieno il rischio che pone ci vuole di più: servono i cosiddetti esperimenti *gain of function*, che modificano il virus per capire quali mutazioni lo rendono più virulento o trasmissibile nell'uomo, e per studiarne l'immunogenicità, la farmacoresistenza o la capacità di ricombinarsi con ceppi di mammifero.

Per evitare nuove accuse di opacità, questa volta i ricercatori giocano d'anticipo, illustrando scopi e possibili inconvenienti degli esperimenti che intendono effettuare e le salvaguardie per minimizzare i rischi, incluse le approvazioni preliminari rese obbligatorie dopo le ultime polemiche.

Se lo scopo era prevenire le diatribe, però, non pare troppo riuscito. C'è già chi ha bollato la lettera come un tentativo di procedere con esperimenti controversi semplicemente annunciandoli, aggirando il vaglio di una comunità scientifica ancora divisa. I benefici poi sarebbero gonfiati, anche perché alcuni esperimenti si possono effettuare altrettanto bene su virus non patogeni.

Su «Nature Biotechnology», intanto, Benjamin tenOever del Mount Sinai Hospital di New York propone una soluzione tecnica per ridurre i rischi: una modifica del virus con un microRNA che non interferisce con gli esperimenti sui furetti ma dovrebbe spegnere sul nascere un'eventuale infezione umana.

Giovanni Sabato

CHMICA

Un nuovo membro della tavola periodica

Sintetizzato in laboratorio l'elemento superpesante con numero atomico 115 assente in natura

Un gruppo internazionale di scienziati guidati da fisici dell'Università di Lund, in Svezia, ha confermato l'osservazione di un nuovo elemento chimico della tavola periodica con numero atomico, cioè il numero di protoni del nucleo, indicato con la lettera *Z*, pari a 115. Il nuovo elemento è stato provvisoriamente chiamato *ununpentium* (simbolo Uup) come sempre avviene quando ancora non esiste una conferma ufficiale della scoperta da parte dell'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). L'ununpentium appartiene agli elementi detti «superpesanti», il cui numero atomico, cioè, è superiore a 104. Questi elementi non esistono in natura, possono essere ottenuti soltanto in laboratorio e generalmente decadono in un tempo brevissimo.

Che potesse esistere un atomo con 115 protoni era già stato ipotizzato nel 2004 da ricercatori russi, ma le prove indirette ottenute non erano state sufficienti a conferire ufficialità alla scoperta. Questa volta invece, come si può leggere in uno studio pubblicato su «Physical Review Letters», la situazione è diversa. Bombardando una lamina sottile di americio con ioni calcio, gli scienziati hanno rilevato fotoni e decadimento alfa dell'ununpentium e dei suoi derivati e, confrontandoli con le energie attese, hanno potuto ottenere una vera e propria impronta digitale dell'elemento 115. In particolare il decadimento alfa costituisce la prova della «morte» di un elemento a causa della frantumazione del suo nucleo con la conseguente emissione di raggi X, quindi è anche la prova della sua esistenza.

Gli esperimenti sono stati effettuati in Germania nell'acceleratore del Gsi Helmholtz Center for Heavy Ion Research, nei cui laboratori sono già stati scoperti negli ultimi trent'anni altri sei elementi superpesanti, tutti quelli con *Z* compreso tra 107 e 112. Attualmente l'ununpentium riempie il vuoto che c'era tra gli elementi 114 e 116, i quali sono stati aggiunti alla tavola periodica solo lo scorso anno. I tempi per l'ufficializzazione da parte della IUPAC potrebbero però essere molto lunghi.

Marina Semiglia

ALMA studia gli oggetti Herbig-Haro

Gli astronomi sanno da tempo che le stelle appena nate producono getti polari contrapposti di materia ad altissima velocità. Le onde d'urto che si generano nello scontro fra questi getti e il gas e la polvere circostanti danno origine agli oggetti Herbig-Haro (HH), particolari nebulose a emissione debolmente luminose, associate alle regioni di formazione stellare, che prendono il nome dagli astronomi George Herbig e Guillermo Haro che per primi, attorno al 1950, ne capirono la natura.

Un oggetto Herbig-Haro osservato dal radiointerferometro ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) costruito nel deserto di Atacama, in Cile, durante la fase di *early science*, ovvero quando la schiera di antenne era ancora in costruzione, è HH 46/47, a circa 1400 anni luce da noi in direzione della costellazione australe della Vela. Basandosi su quelle osservazioni, grazie all'estrema sensibilità dello strumento, un gruppo di astronomi guidato da Héctor Arce, della Yale University, ha scoperto che i due getti conosciuti sono molto più energetici di quanto ipotizzato e che, oltre a questi, c'è anche un terzo getto disallineato mai osservato prima, forse proveniente da una stella compagna. La ricerca è stata pubblicata su «The Astrophysical Journal».

Emiliano Ricci

Andrew Brookes/Corbis; cortesia Georgia Institute of Technology/John Toon (*pendolo quantistico, a fronte*); cortesia CERN (*magneti LHCb, a fronte*)

FISICA

In equilibrio nel mondo dei quanti

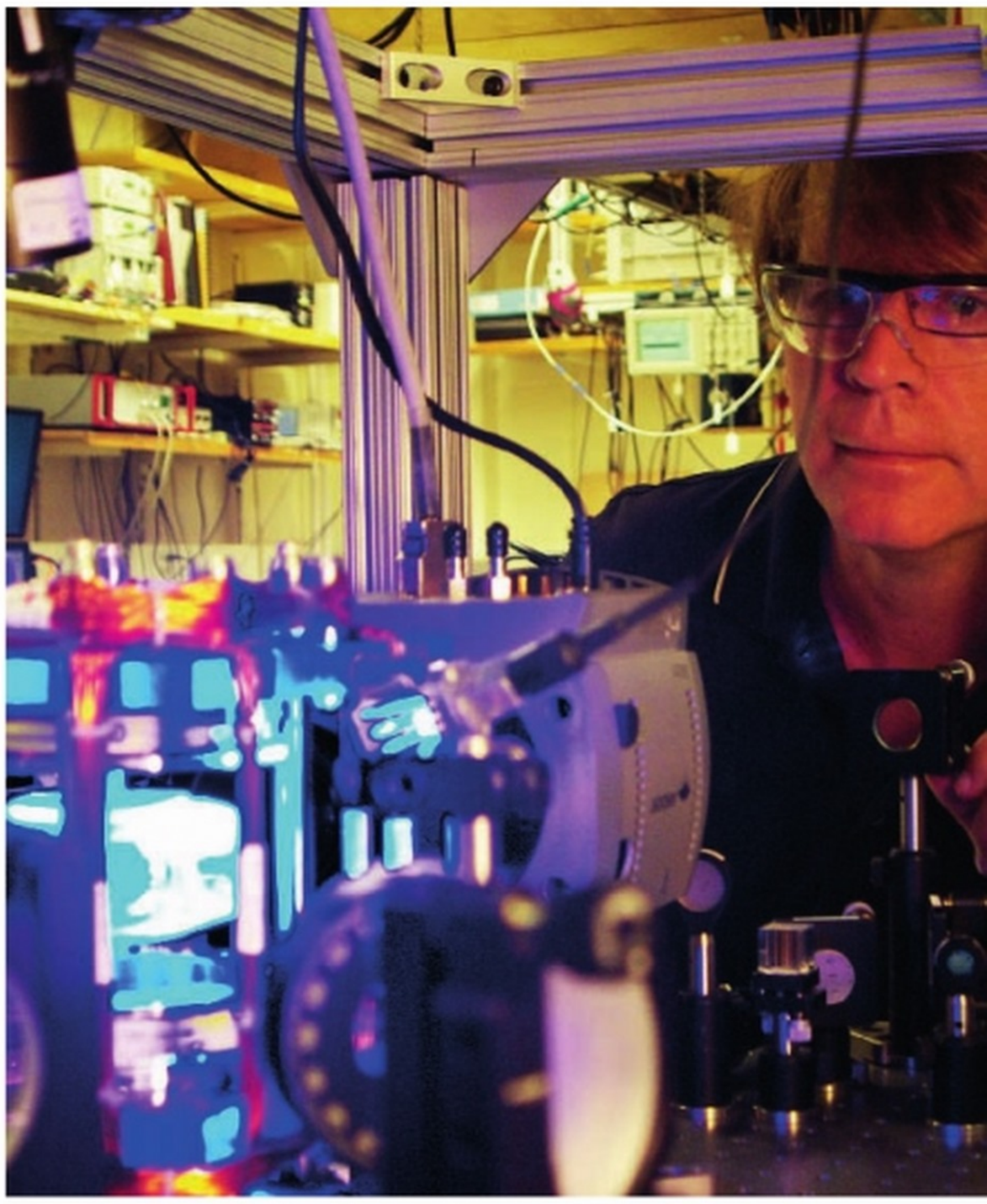
Sviluppata una tecnica a microonde con cui mantenere in equilibrio sistemi quantistici instabili

Nei laboratori del Georgia Institute of Technology è stata a messa a punto una tecnica per mantenere in equilibrio un sistema quantistico instabile. La scoperta ha importanti applicazioni in diverse tecnologie, dagli spettrometri di massa agli acceleratori di particelle ad alta energia, fino ai computer quantistici. Il fenomeno dinamico che si è riusciti a rendere controllabile può essere visto come analogo a quello del pendolo inverso della meccanica classica e in effetti è stato definito «pendolo inverso quantistico».

Una massa vincolata a un'asta, un pendolo, ha due posizioni di equilibrio, entrambe con l'asta verticale: una stabile, con la massa verso il basso, e una instabile, se la massa è in alto (pendolo inverso). È noto che un pendolo inverso può essere reso stabile grazie a oscillazioni dinamiche del punto di vincolo. Ebbene, gli scienziati del Georgia Institute of Technology hanno scoperto che gli spin di atomi orientati in un campo magnetico in posizione instabile possono essere stabilizzati, grazie a radiazioni a microonde che agiscono sul sistema quantistico, in modo simile alle oscillazioni applicate al pendolo inverso classico.

Sono state considerate microonde con diverse ampiezze e frequenze su un sistema «a molti corpi», cioè composto da più particelle interagenti, di circa 40.000 atomi di rubidio, collocati inizialmente in una posizione instabile e portati in prossimità dello zero assoluto. In questa situazione la materia si trova in uno stato detto condensato di Bose-Einstein, in cui le particelle sono nella condizione di più bassa energia, ed è possibile studiarne gli effetti quantistici. In particolare, questa nuova tecnica di controllo differisce in modo sostanziale da quella di *feedback* attivo, che si basa sull'applicazione di una forza esterna di direzione uguale e contraria a quella in cui istante per istante si muove il sistema. Le radiazioni a microonde, infatti, esercitano sulle particelle un'azione costante, che non varia con lo stato stesso del sistema. Lo studio è stato pubblicato su «Physical Review Letters».

Marina Semiglia



Luce oltre il modello standard?

L'anomalo comportamento di una particella rilevato nell'acceleratore LHC di Ginevra potrebbe essere la prima prova sperimentale di un sospetto che parte della comunità dei fisici aveva da tempo: la natura potrebbe obbedire anche a leggi che vanno al di là della teoria fisica fondamentale più consolidata, il modello standard. Ricercatori spagnoli, francesi e italiani avrebbero trovato indizi di una nuova fisica, come annunciato in uno studio per ora disponibile su arXiv.org, un archivio elettronico pubblico ad accesso libero. In particolare gli scienziati hanno misurato nell'esperimento LHCb (*nella foto, i magneti*) che il mesone B subisce una trasformazione, il decadimento in un kaone e due muoni, con un comportamento che non corrisponde a quello previsto dal modello standard. L'annuncio non ha ancora lo status di una vera scoperta, dato che le misure non hanno raggiunto la precisione necessaria, ovvero la misura statistica dei «cinque sigma», però ci sono molto vicine, visto che sono a 4,5 sigma e i ricercatori prevedono di ottenere la conferma definitiva nel marzo 2014.

Il modello standard è la più avanzata teoria confermata sperimentalmente sul comportamento di particelle e forze fondamentali della natura. La scoperta del bosone di Higgs ha rafforzato questo modello, dato che il bosone in questione era proprio quello atteso dalla teoria. Ma molti fisici dubitano del fatto che il modello standard sia la teoria definitiva. LHCb è stato progettato per studiare fenomeni rari, come il decadimento del mesone B citato prima. Quando questa particella si disintegra, i sottoprodotti devono avere caratteristiche definite, secondo le previsioni del modello standard: per esempio, gli angoli con cui si allontanano l'uno dall'altro. I ricercatori hanno verificato che questi parametri sono diversi dal previsto e che l'insieme di queste deviazioni sarebbe sufficientemente coerente da giustificare nuove leggi fisiche. Ora bisogna aspettare la conferma.

Michele Catanzaro

BIOLOGIA

Il riconoscimento di Henrietta Lacks

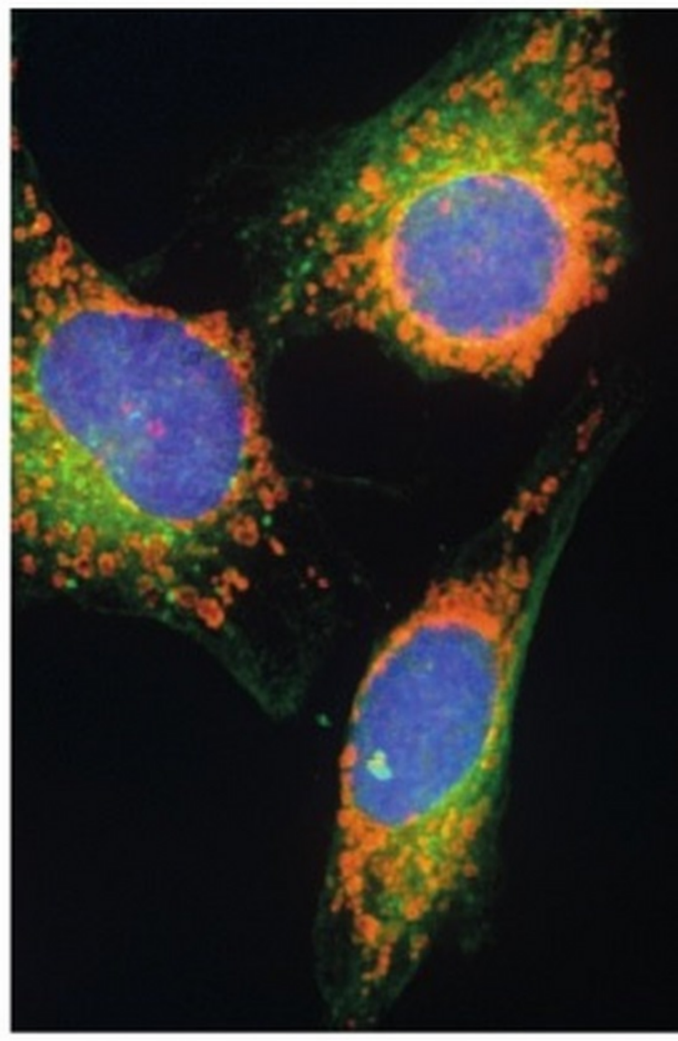
La donna è stata riconosciuta dagli NIH come fonte della linea cellulare HeLa usata da decenni

I National Institutes of Health (NIH) hanno ufficialmente riconosciuto Henrietta Lacks come la fonte delle cellule che hanno dato vita alla linea cellulare HeLa, usata da decenni nei laboratori di tutto il mondo. D'ora in avanti le ricerche genetiche finanziate dagli NIH e basate sulle sue cellule dovranno rendere esplicita l'origine della linea cellulare. L'accordo, e il riconoscimento, arrivano dopo una lunga campagna da parte della famiglia della donna, morta di tumore all'utero nel 1951, a 31 anni. Lacks aveva subito una biopsia e le sue cellule, dotate di una capacità unica di resistenza e replicazione, sono state trasformate nella prima linea cellulare «immortale», in grado di produrre *in vitro* infinite nuove generazioni di cloni. Da allora le cellule HeLa sono state usate in migliaia di ricerche biomediche e sono lo standard per molti tipi di ricerche basate su colture cellulari.

Nel corso degli anni, la storia delle HeLa ha sollevato polemiche, dato che la linea cellulare è stata sviluppata senza il consenso della donatrice e solo nel 1971 ne è stata resa pubblica l'origine. Nel frattempo il suo materiale genetico era stato diffuso in tutto il mondo, prima commercializzato e in seguito condiviso liberamente tra laboratori: le cellule non erano brevettate.

Nel 2010 la pubblicazione di un libro di grande successo sulla storia di Lacks ha portato il caso all'attenzione dell'opinione pubblica. E nel 2013 la pubblicazione dell'intera sequenza del genoma delle cellule HeLa ha creato un problema di *privacy* per i discendenti della donna. La sequenza è stata resa inaccessibile, e gli NIH hanno bloccato la pubblicazione da parte di «Nature» dei risultati di un altro progetto di sequenziamento basato su una linea cellulare HeLa. Nel frattempo la famiglia e Francis Collins, direttore degli NIH, hanno raggiunto un accordo per tutelare la privacy dei discendenti della donatrice.

Alessandro Delfanti



Adamo visse insieme a Eva

Il contributo di due studi genetici indipendenti, uno dei quali in gran parte italiano, contribuisce a una maggiore chiarezza sulle origini della nostra specie, in particolare del ramo di discendenza maschile. Il più recente antenato comune maschio di tutta l'umanità, soprannominato «Adamo» sarebbe vissuto più o meno nella stessa epoca della sua controparte femminile, chiamata «Eva», ovvero tra 120.000 e 200.000 anni fa: per scorgere le tracce di Adamo bisogna dunque fare un salto nel passato più lungo di quanto si pensasse, circa il triplo del tempo stimato in precedenza.

Gli studi, concentrati sul cromosoma Y, ereditato dai maschi per via paterna, sono stati pubblicati entrambi su «Science», e hanno coinvolto l'analisi del patrimonio genetico di numerosi individui provenienti da diverse popolazioni. Una delle due ricerche, diretta da Paolo Francalacci dell'Università di Sassari, si è concentrata sui sardi, dimostrando che si tratta della popolazione europea con la maggior quantità di variazioni nel cromosoma Y. Più in dettaglio, Francalacci e colleghi hanno identificato nelle «regioni maschio-specifiche» dei cromosomi Y di 1204 individui migliaia di polimorfismi a singolo nucleotide (indicati con la sigla SNP, da *single-nucleotide polymorphism*), 6000 dei quali non erano mai stati osservati prima. Il confronto con i dati disponibili per le altre popolazioni ha portato alla costruzione di un albero genealogico che arriva fino all'epoca in cui visse Adamo, tra 180.000 e 200.000 anni fa.

L'altro lavoro pubblicato su «Science», diretto da G. David Poznik della Stanford University School of Medicine, ha analizzato un campione più piccolo rispetto a quello degli italiani, costituito da 69 individui, appartenenti però a nove diverse popolazioni. L'analisi di quasi dieci milioni di loci di sequenze del cromosoma Y ha permesso di stimare che «Adamo» sarebbe vissuto tra 120.000 e 156.000 anni fa. Si tratta di un periodo lievemente più recente rispetto a quello stimato da Francalacci e colleghi, ma comunque assai più antico rispetto alle stime precedenti. I due studi rappresentano un importante passo avanti nella ricostruzione delle nostre origini, e un buon punto di partenza per datazioni genetiche più precise di altri capitoli cruciali della storia della popolazione umana.

Fabio Perelli

Dr. Gopal Murti/Visuals Unlimited/Corbis (*cellule HeLa*); Pascal Deloche/Godong/Corbis (*Adamo ed Eva, di Raffaello*)

CLIMA

Eventi estremi e anidride carbonica

Gli eventi climatici estremi possono ridurre l'assorbimento di carbonio delle terre emerse

Sulla Terra è sempre esistito un bilancio approssimativamente in equilibrio tra la quantità di CO_2 emessa in atmosfera da mari e terre emerse e la sua quantità che torna a essere assorbita dagli oceani e dai vegetali. Da decenni a questa parte l'uomo ha perturbato questo equilibrio dinamico, dato che le emissioni di CO_2 di origine umana sono aumentate, incrementando l'effetto serra. In questo contesto, però, i «serbatoi» marini e terrestri di CO_2 hanno risposto con un assorbimento leggermente aumentato, in gran parte dovuto a un incremento nella durata della stagione di crescita della vegetazione nell'emisfero nord, dovuto a sua volta all'aumento di temperature e alla maggiore disponibilità di CO_2.

Oggi però si comincia ad assistere non solo a un aumento graduale di temperatura e anidride carbonica e a cambiamenti lenti nel ciclo dell'acqua, ma anche a eventi estremi termo-pluviometrici, che possono far variare questo scenario. Ora un articolo di Markus Reichstein, del Max-Planck-Institut für Biogeochemie di Jena, pubblicato su «Nature», analizza l'impatto di questi eventi climatici estremi sul bilancio dell'anidride carbonica sulla Terra.

Per capire l'importanza di questi eventi basta pensare all'influenza di prolungati periodi di siccità: questi, tramite effetti combinati a livello di singole piante ed ecosistemi boschivi o forestali, possono condurre a condizioni di stress idrico, aumentato rischio di incendi, maggiore vulnerabilità all'attacco di parassiti e, in definitiva, a minore assorbimento o addirittura a un'emissione netta di CO_2 in atmosfera, per esempio nel caso in cui le piante muoiano. Le analisi di Reichstein, effettuate con modelli interagenti di clima e ciclo del carbonio, mostrano che questi eventi estremi possono causare notevoli riduzioni nelle capacità di assorbimento di carbonio da parte delle terre emerse, che invece finora ci avevano dato una mano a mitigare la crescita di CO_2 in atmosfera.

Antonello Pasini

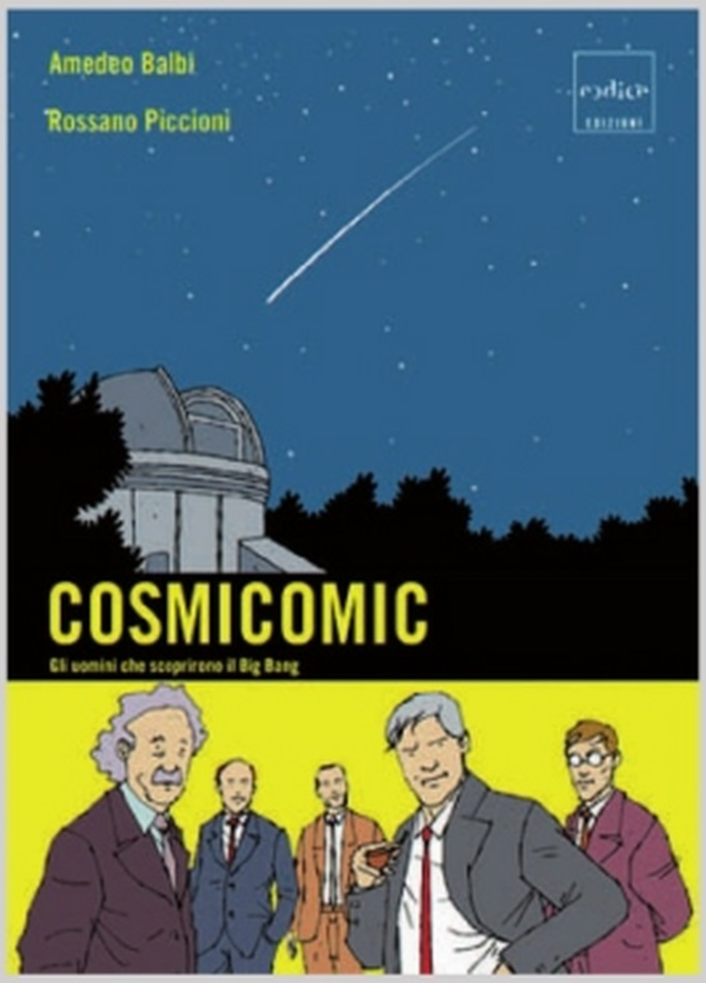
Tim Daniels/Loop Images/Corbis

codice EDIZIONI

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codiceedizioni
pinterest.com/codiceedizioni

NOVITÀ OTTOBRE



LA VERA STORIA DELLA RICERCA SCIENTIFICA SULL'ORIGINE DELL'UNIVERSO, RACCONTATA PER LA PRIMA VOLTA COME UNA COINVOLGENTE SPY-STORY A FUMETTI.

AMEDEO BALBI, ROSSANO PICCIONI
COSMICOMIC
GLI UOMINI CHE SCOPRIRONO IL BIG BANG (GRAPHIC NOVEL)
PP. 160, EURO 21,00

MONTEDISON, FARMITALIA, I CENTRI DI RICERCA SUL CANCRO. INTERESSI POLITICI, MAZZETTE E TANTO SPRECO. UNO DEI CAPITOLI PIÙ CONTROVERSI DELLA RECENTE STORIA ITALIANA.

DANIELA MINERVA, SILVIO MONFARDINI
IL BAGNINO E I SAMURAI
LA RICERCA BIOMEDICA IN ITALIA: UN'OCCASIONE SPRECATA
PP. 320, EURO 16,90

MICROBIOLOGIA

Come è altruista quel batterio

La specie si è evoluta in una forma non tossica per favorire l'ameba con cui vive in simbiosi

Nuovi indizi di comportamenti altruistici sembrano provenire da forme di vita molto semplici, procarioti della specie *Pseudomonas fluorescens*, che vivono in simbiosi con l'ameba *Dictyostelium discoideum*.

La capacità dell'ameba di «coltivare» batteri a fini alimentari – un comportamento eccezionale tra i microrganismi – è nota già da un paio d'anni. Ma in un recente articolo apparso sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», un team di ricerca dell'Università di Washington a St. Louis e della Harvard University ha annunciato di aver scoperto che esistono due ceppi batterici coltivati da *D. discoideum*, uno dei quali è commestibile e l'altro tossico. Sequenziando i genomi dei due ceppi i ricercatori hanno stabilito che appartengono alla stessa specie, *Pseudomonas fluorescens*. La forma ancestrale, secondo una ricostruzione filogenetica, parrebbe essere quella tossica, mentre quella commestibile si sarebbe evoluta in un secondo momento, attraverso un unico evento di mutazione.

La nuova forma avrebbe perso la tossicità con il preciso scopo di attrarre gli appetiti dell'ameba, così da permettere alle colonie di essere allevate e diffuse nell'ambiente circostante, verso zone più ricche di nutrienti, pur con il sacrificio (altruistico) di alcuni individui.

Fabio Perelli

Una nuova tecnologia per il DNA

Gli scienziati dello Scripps Research Institute hanno trovato una strada per applicare una potente nuova tecnologia di *editing* del DNA in modo più ampio rispetto al passato. La svolta riguarda una serie di proteine che si legano al DNA chiamate TALE (transcription-activator-like effectors), che i biologi usano sempre più spesso per manipolare geni specifici all'interno delle cellule. Finora però questo metodo era ritenuto applicabile solo a una frazione delle possibili sequenze di DNA che si trovano in animali e piante. La limitazione dipendeva dal fatto che tutte le proteine TALE naturali scoperte finora hanno come bersaglio sequenze di DNA la cui trascrizione inizia con il nucleoside timidina, che contiene la base azotata T (timina). I biologi molecolari avevano quindi ipotizzato che la stessa regola dovesse valere per qualsiasi proteina TALE artificiale, ma la nuova scoperta, pubblicata su «Nucleic Acids Research», elimina questa restrizione. Grazie a una serie di test sono state selezionate nuove proteine TALE che funzionano bene anche con un nucleoside non-T all'inizio della loro sequenza di DNA bersaglio. Le potenziali applicazioni biotecnologiche e mediche di questa nuova metodologia sono numerose, e includono i trattamenti per le malattie genetiche.

Eugenio Melotti

Lo scheletro molecolare che sostiene i cromosomi

Provate a far entrare 150 chilometri di corda in un pallone da calcio. Sembra un'impresa impossibile, ma non per una cellula umana, che riesce a racchiudere 3,5 metri di DNA in un nucleo di un centesimo di millimetro di diametro. Come fa? Il meccanismo è noto solo in parte. Un modo per compattare il filamento di DNA è avvolgerlo strettamente intorno a proteine dette istoni, che fungono da rocchetto. In organismi semplici come i batteri, però, gli istoni mancano, e anche dove ci sono, come nelle cellule umane, è improbabile che facciano tutto da soli.
Un team dell'Istituto di ricerca di patologia molecolare di Vienna (IMP) ha infatti scoperto un ulteriore meccanismo, descritto su «Nature». Un complesso proteico noto come coesina ha un effetto stabilizzante sul DNA, fornendo una sorta di scheletro molecolare alla sua architettura. In termini evolutivi, la coesina è molto più antica degli istoni, e la sua struttura non è cambiata nel corso di miliardi di anni, suggerendo un suo ruolo ancestrale nella compattazione del DNA. Nel 1997 gli scienziati dell'IMP avevano scoperto che la coesina è essenziale anche nella divisione cellulare, per garantire la corretta distribuzione dei cromosomi alle cellule figlie. Forma un anello molecolare, che tiene insieme i cromatidi fratelli fino alla loro separazione. Antonio Tedeschi, ricercatore dell'IMP e primo autore dello studio, ha scoperto ora che la coesina supporta l'architettura del DNA in cellule in interfase, cioè non in divisione. Analizzando cellule in cui era stata soppressa la funzione di Wapl, una proteina che controlla il legame della coesina al DNA, ha visto che quest'ultima si trovava «bloccata» sulla cromatina in uno stato insolitamente stabile, che impediva alle cellule di esprimere correttamente i propri geni e di dividersi. In ogni cromosoma in interfase, Tedeschi ha individuato strutture allungate di coesina che ne rappresentano lo scheletro e che, da buon italiano, ha chiamato «vermicelli».

Eugenio Melotti

Dr Tony Brain/ /Science Photo Library/Corbis (*batteria*)

BIODIVERSITÀ

I giusti rapporti tra fiori e insetti

L'architettura delle loro relazioni è ideale per tutelare la biodiversità

Tim Zurowski/All Canada Photos/Corbis (*insetto*); Tom Bean/Corbis (*trilobite*)

Per gli insetti impollinatori sfruttare il numero più alto possibile di specie di fiore sembrerebbe il modo migliore per sopravvivere. «Ma se la natura avesse seguito questa strada – dice il professor Amos Maritan, del Dipartimento di fisica e astronomia dell'Università di Padova – solo in apparenza più razionale, la biodiversità sarebbe minore e gli ecosistemi più vulnerabili».

Per arrivare a questa conclusione Maritan, Samir Suweis e colleghi hanno analizzato matematicamente le relazioni fra fiori e insetti, pubblicando i risultati su «Nature». «Gli ecologi hanno scoperto che esistono impollinatori generalisti che frequentano tutti i fiori, impollinatori più selettivi, che si nutrono solo di alcune specie di fiori, puntando però su quelle più usate da altri insetti, e infine impollinatori selettivi, che si nutrono di una sola specie, ma sempre scelta fra le più popolari. Lo stesso avviene dal punto di vista dei fiori: alcuni accettano tutti gli insetti, altri meno, ma preferendo gli insetti più generalisti, e alcuni che usano un solo insetto, ma sempre quello che frequenta più fiori».

Non si era però capito quali vantaggi fornisse questa strana architettura di relazioni, detta «annidata». Maritan e colleghi rivelano ora che questa struttura è l'ideale per il mantenimento della biodiversità. «Se tutti gli insetti e i fiori fossero generalisti, competerebbero tutti nella stessa nicchia ecologica, e questo porterebbe alla selezione di poche specie dominanti, aumentando il rischio di estinzioni catastrofiche. Le relazioni esclusive fra un fiore e un insetto, d'altro canto, fanno sì che l'estinzione di uno estingua anche l'altro. L'architettura annidata, invece massimizza la quantità di specie e di individui in funzione delle risorse disponibili». È come se dall'«egoismo» delle singole specie, in milioni di anni di prove ed errori, fosse emersa una forma di cooperazione, che avvantaggia tutti.

Adesso Maritan vuole cercare forme di architettura annidata anche nella società umana, per esempio in vari settori economici, per vedere se anche per noi è la forma di organizzazione più efficiente e razionale possibile.

Alex Saragosa

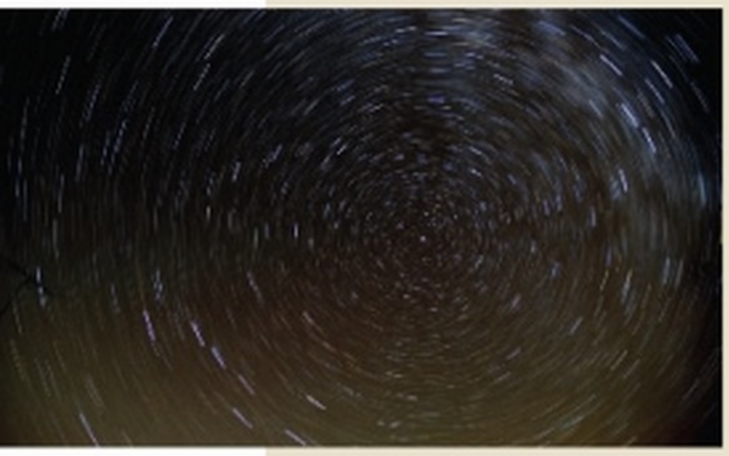
Ossigeno ed esplosione del Cambriano

L'esplosione di forme di vita avvenuta nel Cambriano, 540 milioni di anni fa, sarebbe dovuta a un aumento dell'ossigeno subacqueo, combinato con catene alimentari sempre più complesse. Lo afferma uno studio pubblicato su «PNAS» da ricercatori statunitensi e indiani, basato sull'osservazione delle zone dell'oceano con una grande carenza di ossigeno.
Dopo 3 miliardi di anni di vita batterica o unicellulare, nel Cambriano apparvero improvvisamente grandi quantità di animali complessi. Darwin definì questo fenomeno

«la principale obiezione alla mia teoria», che vedeva l'evoluzione come un processo più graduale.
L'ultimo studio suggerisce però che un incremento di ossigeno potrebbe aver indotto la spettacolare moltiplicazione della vita complessa. I ricercatori hanno analizzato fondi marini profondi, con diverse densità di ossigeno. Più aumenta l'ossigeno, più è complessa la rete di catene alimentari dell'ecosistema considerato, più sono numerosi gli animali complessi. La combinazione del gas e delle reti ecologiche sarebbe quindi un buon candidato per spiegare la misteriosa esplosione di vita.

Michele Catanzaro

Come misurare la gravità di una stella



Una delle proprietà fondamentali di una stella è la gravità misurata alla superficie, conosciuta la quale basta infatti misurare la temperatura superficiale dell'astro per calcolarne la massa, le dimensioni e quindi la densità. Finora esistevano tre metodi di crescente complessità e precisione (fotometrico, spettroscopico, astrosismologico) per determinarla.

Ma ora ce n'è uno nuovo, semplice e ad alta precisione. Si basa sull'osservazione dello «sfarfallio» (*flickering*) della luce delle stelle – piccole variazioni di luminosità su tempi di poche ore – causato dalla granulazione fotosferica, ovvero dalla presenza di colonne di gas in moto convettivo che si manifestano sulla superficie della stella sotto forma di celle più o meno brillanti.

In particolare, se la gravità superficiale è debole le celle sono grandi, e lo sfarfallio è a bassa frequenza, mentre in condizioni di gravità superficiale alta le celle sono più piccole e il flickering si manifesta a frequenze maggiori. La scoperta, di gruppo di astronomi della Vanderbilt University di Nashville, in Tennessee, è stata pubblicata su «Nature», e permetterà di determinare con più precisione massa e densità degli esopianeti. (EmRi)

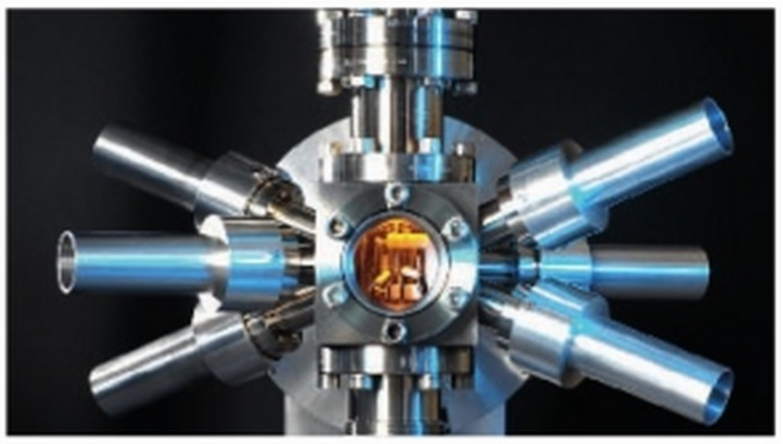
Un centro d'élite per la scienza russa

La Russia investe in ricerca con un nuovo centro che sta sorgendo a Skolkovo, alle porte di Mosca, e che ospiterà lo Skolkovo Institute for Science and Technology (SkolTech), istituzione d'élite in cui si insegnerà e si farà ricerca in inglese, realizzata in collaborazione con il MIT di Boston. Nei piani del governo di Mosca l'università è destinata ad affermarsi come centro di rilancio del sistema dell'innovazione del paese.

Lo SkolTech si concentrerà su cinque aree di ricerca: informatica, nucleare, efficienza energetica, tecnologie mediche e spazio e telecomunicazioni. Il progetto sta utilizzando un finanziamento statale di 85 miliardi di rubli (2 miliardi di euro), ma il governo ha annunciato lo stanziamento di altri 135 miliardi (3 miliardi di euro) da qui al 2020. Le cifre non sono ufficiali, ma sembra che il MIT abbia ricevuto più di 200 milioni di euro per i servizi che fornirà allo SkolTech fino al 2015.

L'area ospiterà anche un parco scientifico commerciale per start-up e centri di ricerca privati: giganti come Cisco, Ibm, Intel e Microsoft hanno annunciato investimenti, e mille start-up tecnologiche hanno già prenotato spazi. Per attirare ricercatori da altri paesi lo SkolTech offrirà condizioni economiche di alto livello, mentre le imprese godranno di regimi fiscali speciali. (AlDe)

Orologi superprecisi



Ricercatori del National Institute of Standards and Technology hanno ottenuto con atomi di itterbio un livello di stabilità nella misura del tempo mai raggiunta prima. Gli orologi atomici scandiscono il tempo usando una frequenza radio tenuta costante perché in grado di far saltare di livello gli elettroni di un elemento (di solito gas di cesio), facendo loro emettere luce, che serve come indicatore della stabilità della frequenza.

Ma se gli attuali orologi al cesio sbagliano di un secondo circa ogni 3 milioni di anni, nell'esperimento del NIST l'itterbio, eccitato con luce laser a 518 terahertz, si è dimostrato così stabile da permettere, in teoria, di raggiungere un'accuratezza di un secondo ogni 15,5 miliardi di anni. Naturalmente l'itterbio è solo il «pendolo» dell'orologio atomico: per mantenere quella accuratezza bisognerà costruirgli intorno un'elettronica di pari precisione e stabilità. Ma già avere un pendolo che sbaglia di un secondo per l'intera vita dell'universo non è male. (AlSa)

La speciazione difficile delle orche marine

Secondo alcuni evoluzionisti l'orca marina (*Orcinus orca*) è un esempio di speciazione simpatrica, la divaricazione di una specie in due specie distinte perché due popolazioni conviventi occupano nicchie ecologiche diverse.

Ma il processo può essere ostico. Le popolazioni di orca differiscono per le culture predatorie, tramandate di generazione in generazione.

Così nel Nord Pacifico le orche che cacciano le foche sarebbero ormai distinte da quelle che mangiano le aringhe, anche se manca un riconoscimento formale come specie diverse. Andrew Foote, dell'Università di Copenhagen, cercava segni della speciazione in corso nell'Atlantico, dove le orche sono giunte molto più di recente, circa 10.000 anni fa. Ma il quadro che riferisce sui «Proceedings of the Royal Society B» è ambiguo: le popolazioni odierne e antiche mostrano divergenze genetiche limitate, e del resto le preferenze alimentari, inferite dall'usura dei denti e dai rapporti fra alcuni isotopi, sono meno rigide. «Forse la diversificazione è agli inizi, o forse in assenza di altre barriere la speciazione simpatrica fatica a procedere», conclude. (GiSa)

Mike Grandmaison/Corbis (*stelle*); Npl & Andrew Brookes/ /Science Photo Library/Corbis (*orologio atomico*); Flip Nicklin/Minden Pictures/Corbis (*orche*)

Microbi per l'agricoltura

I microbi sono partner essenziali in ogni aspetto della fisiologia delle piante, ma sono stati sostanzialmente trascurati negli sforzi per aumentare le rese e la robustezza delle colture. Eppure con le nuove tecnologie per studiare e manipolare gli ecosistemi microbici, gli spazi di manovra sono ampi: ottimizzando le comunità microbiche, in vent'anni le rese potranno crescere del 20 per cento riducendo in pari misura il consumo di pesticidi e fertilizzanti.

Lo afferma il rapporto *How Microbes can Help Feed the World*, della American Academy of Microbiology, che suggerisce gli interventi su cui investire, a partire da iniziative come un progetto per caratterizzare il microbioma di una delle maggiori colture. «Se le rese fossero ovunque le migliori possibili, i raccolti crescerebbero del 45-70 per cento», osserva il rapporto. «Ma arrivare a questo risultato aumentando a dismisura irrigazione, fertilizzanti e pesticidi è impensabile. I microbi sono uno strumento da sfruttare». (GiSa)

Italia in anticipo sull'energia rinnovabile

L'elettricità da fonti rinnovabili in Italia ha già raggiunto i livelli previsti per il 2020. Lo indica il rapporto sull'energia rinnovabile 2012: 92,2 terawattora prodotti con acqua, sole, vento, biomasse e calore della terra, pari al 27,1 per cento dei consumi elettrici, una salita vertiginosa dal 16,8 per cento del 2008.

In particolare l'idroelettrico ha prodotto 41,8 TWh, il solare 18,8, l'eolico 13,4, le bioenergie 12,4 e la geotermia 5,6. Il programma «20-20-20» (entro il 2020 l'UE deve raggiungere il 20 per cento di energia da rinnovabili, riduzione dei consumi energetici e calo delle emissioni), prevede per l'Italia una quota del 27 per cento di elettricità da fonte rinnovabile entro il 2020: in pratica siamo già oltre, e con otto anni di anticipo.

E la rivoluzione energetica italiana, pur fra mille difficoltà economiche e normative, pare solo all'inizio. L'ultimo bollettino del Gestore dei mercati energetici prevede che intorno al 2015 sarà superato anche il tetto rinnovabile a 110 TWh del Piano di azione nazionale del 2010, e che prima del 2020 potrebbe anche cadere quello di 120 TWh, fissato dalla Strategia energetica nazionale appena pochi mesi fa. In effetti, nei primi otto mesi del 2013 la produzione da rinnovabili è già cresciuta di altri 14 TWh: +22 per cento sul 2012. (AlSa)

Linguaggio plasmato nel grembo materno

I suoni ascoltati dal feto nel grembo materno sono in grado di plasmare le capacità linguistiche del nascituro. Lo afferma uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» e condotto da un team di ricerca internazionale coordinato da Eino Partanen, dell'Istituto di scienze comportamentali dell'Università di Helsinki.

Lo studio ha coinvolto 33 donne a partire dalla ventinovesima settimana di gravidanza fino alla nascita dei bambini. A metà delle gestanti sono state fatte ascoltare, più volte alla settimana, le registrazioni di una cantilena ripetuta centinaia di volte con diverse variazioni. Dopo la nascita dei bambini i ricercatori hanno osservato il modo in cui il loro cervello rispondeva alle variazioni della cantilena, mettendo a confronto i neonati esposti ai suoni in utero con coloro che non avevano subito lo stesso trattamento.

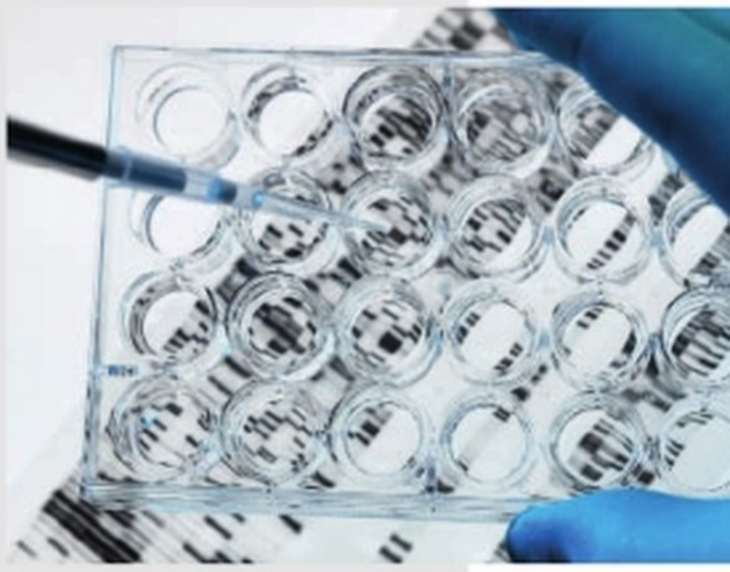
I risultati suggeriscono che il cervello è capace di apprendere attraverso l'udito prima della nascita. Già alla ventisettesima settimana di gestazione, infatti, il feto è capace di ascoltare i suoni, che attivano la riorganizzazione della corteccia uditiva e la maturazione del sistema nervoso. Secondo gli autori la ricerca potrebbe rappresentare una chiave per la cura di disturbi del linguaggio come la dislessia. (DaPa)

Jack K. Clark/AgStock Images/Corbis (*campo*); Mike Kemp/Rubberball/Corbis (*gestante*); Rafe Swan/cultura/Corbis (*genetica*)

Se l'innovazione va troppo veloce

L'innovazione in genetica è più veloce di quanto si potesse prevedere solo pochi anni fa, ma non porta alle conseguenze previste. È questa la ragione dell'annullamento dell'Archon Genomics X Prize, un premio da 10 milioni di dollari annunciato nel 2006 e destinato al primo team che avesse costruito una macchina capace di sequenziare 100 genomi umani in meno di 30 giorni a un costo inferiore ai 1000 dollari ciascuno.

Oggi infatti diverse aziende



sono in grado di sequenziare un genoma per poche migliaia di dollari, e la genomica low cost è ormai una realtà. Ma la strada sembra ancora lunga per raggiungere standard qualitativi adeguati a un uso medico del sequenziamento del genoma di un singolo individuo.

Tra gli ispiratori e finanziatori del premio vi è anche il biologo statunitense Craig Venter, che ne ha annunciato la cancellazione sostenendo che le imprese che si concentrano soltanto su velocità e costi anziché sulla qualità delle informazioni che producono stanno compiendo un errore.

Il premio, che era stato ampiamente pubblicizzato come un riconoscimento rivoluzionario, è stato annullato solo poche settimane prima della scadenza ufficiale. (AlDe)

Giulio Tononi e **Chiara Cirelli** sono docenti di psichiatria all'Università del Wisconsin a Madison. La loro ricerca sulla funzione del sonno fa parte di un'indagine a più vasto raggio sulla coscienza umana, argomento del libro recente di Tononi *Phi: A Voyage from the Brain to Soul* (Knopf, 2012; trad. italiana per Codice Edizioni, in stampa)

NEUROSCIENZE

La funzione del sonno

Durante il sonno il cervello lavora freneticamente, riducendo il numero di connessioni tra i neuroni. È un'attività di «potatura» essenziale per l'apprendimento e la memoria, oltre che per conservare l'energia indispensabile ai neuroni

di Giulio Tononi e Chiara Cirelli

Ogni notte, mentre siamo addormentati – ciechi, muti e quasi paralizzati – il nostro cervello lavora a pieno regime. Durante il sonno i neuroni scaricano con una frequenza paragonabile a quella dello stato di veglia e consumano un'energia quasi equivalente. A che serve tutta questa attività in una fase della giornata in cui in teoria stiamo riposando? Per quale ragione la mente cosciente si scollega così completamente dal mondo, e invece il cervello continua a «chiacchierare»?

IN BREVE

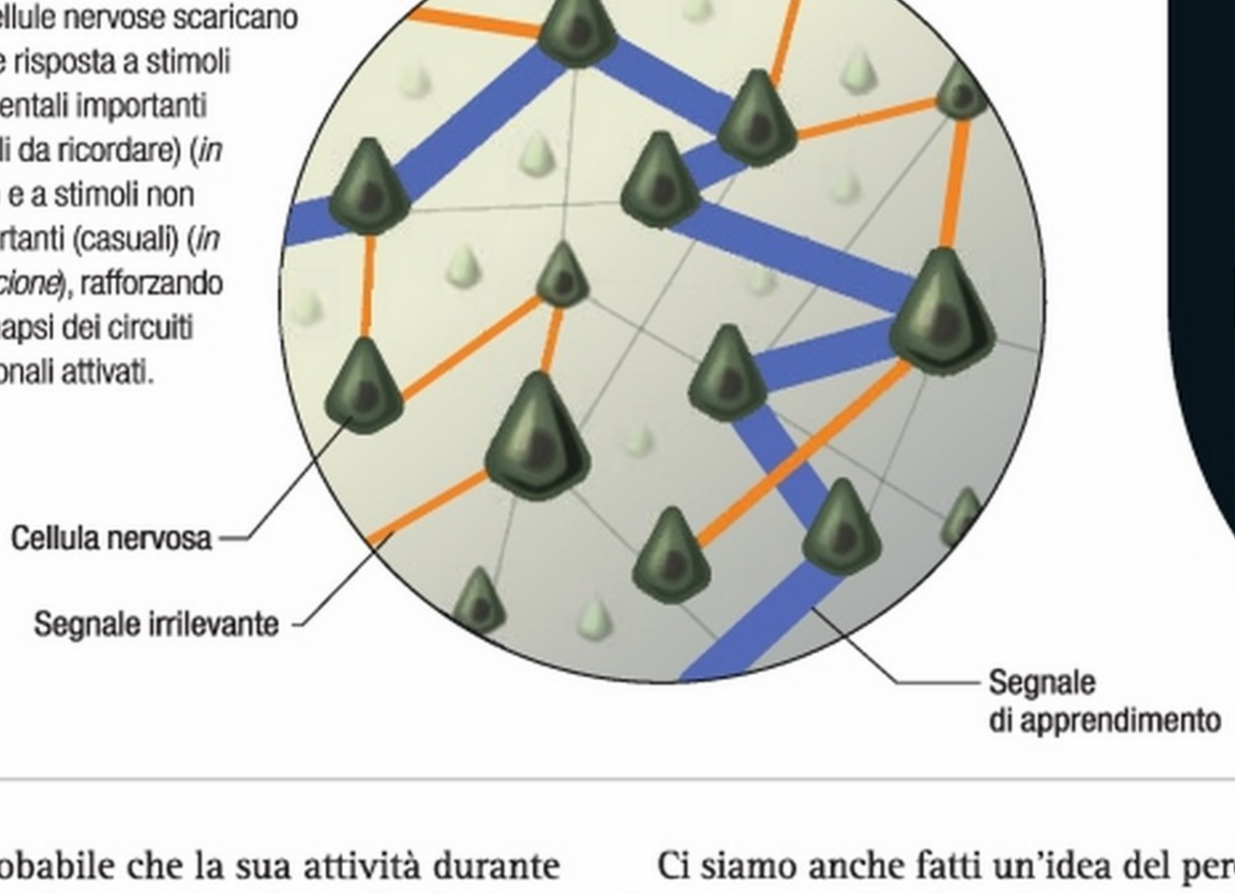
Il sonno risponde indubbiamente a una funzione vitale. Tant'è che tutti gli animali dormono.
Tuttavia le ricerche indicano che il sonno indebolisce le connessioni tra le cellule nervose: un effetto sorprendente, se si considera che il rafforzamento di quelle connessioni neurali nello stato di veglia contribuisce all'apprendimento e alla memoria.
Indebolendo le sinapsi, però, il sonno evita che le cellule nervose siano sovraccaricate dalla esperienza quotidiana e consumino troppa energia.

Fotografia di Fredrik Broden

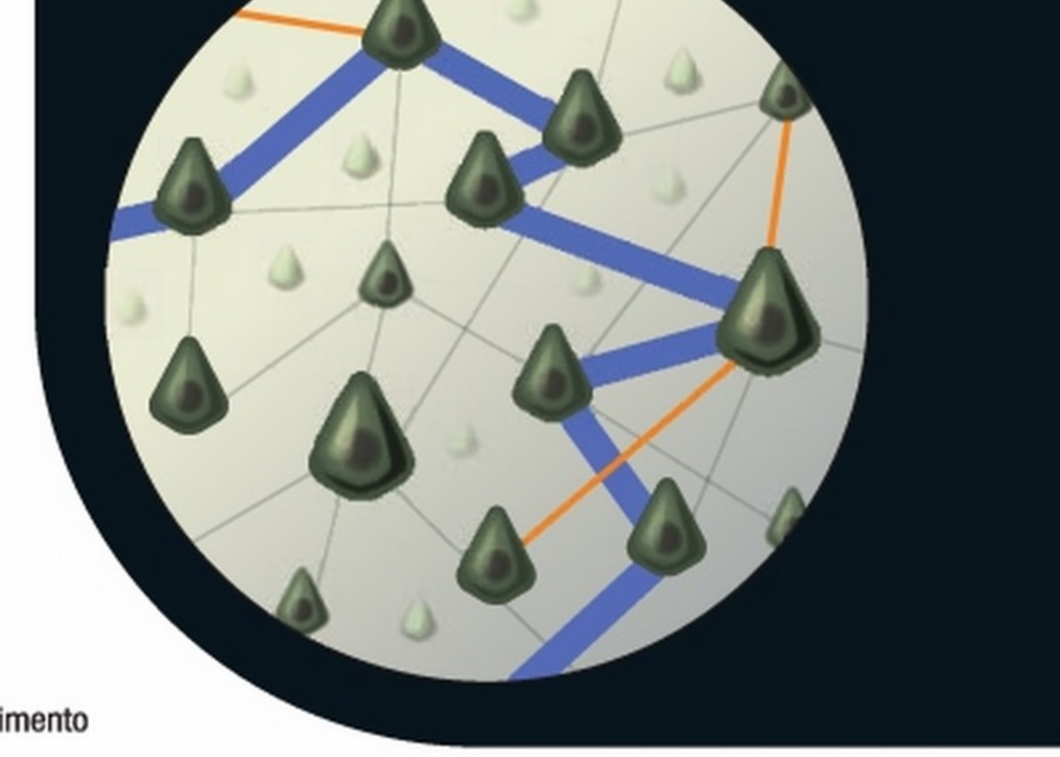
Perché dormiamo?

Da svegli, i ricordi si formano quando i neuroni attivati insieme rinforzano i loro collegamenti (*in basso a sinistra*). Gli studiosi del sonno hanno ipotizzato che, quando dormiamo, la riattivazione di questi circuiti neuronali rinforzi i collegamenti. Ma potrebbe accadere esattamente il contrario (*disegno ombreggiato*): si accumulano le prove che la scarica spontanea dei neuroni durante il sonno indebolisce le sinapsi, o punti di contatto, tra i neuroni in molti circuiti eccitati. Secondo gli autori, questo indebolimento riporterebbe le sinapsi a un livello di forza basale, un cambiamento che conserverebbe l'energia e ridurrebbe lo stress nelle cellule nervose. Questo ritorno al livello basale, detto omeostasi, è forse lo scopo fondamentale del sonno.

Nello stato di veglia
Le cellule nervose scaricano come risposta a stimoli ambientali importanti (quelli da ricordare) (*in viola*) e a stimoli non importanti (casuali) (*in arancione*), rafforzando le sinapsi dei circuiti neuronali attivati.



Durante il sonno
La scarica spontanea dei neuroni rimuove o indebolisce selettivamente i collegamenti neuronali (*rappresentati dalle linee sottili*). In qualche modo, i collegamenti trascurabili sono indeboliti più di quelli significativi, permettendo ai ricordi importanti di rimanere integri.



È probabile che la sua attività durante il nostro riposo svolga alcune funzioni essenziali. La prima prova di questa importanza è la diffusione del sonno: quasi ogni animale dorme, benché incoscienza e passività aumentino il rischio di finire in pasto a un predatore. Gli uccelli dormono, le api dormono, dormono le iguane, gli scarafaggi e persino i moscerini della frutta.

In più l'evoluzione ha concepito adattamenti straordinari che favoriscono il sonno. Per esempio i delfini e altri mammiferi marini, che sono costretti a risalire spesso in superficie per respirare, dormono disattivando alternativamente un emisfero cerebrale, lasciando sveglio l'altro.

Come molti, anche noi ci chiediamo da tempo quali siano i vantaggi che rendono il sonno così determinante per gli esseri viventi. Oltre vent'anni fa, quando lavoravamo insieme alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, abbiamo ipotizzato che l'attività del cervello nel sonno riportasse al livello basale i miliardi di connessioni neurali modificate dagli eventi della veglia. Secondo la nostra teoria il sonno preserverebbe la capacità dei circuiti cerebrali di formare nuovi ricordi per tutta la vita, senza saturarsi né cancellare quelli precedenti.

Ci siamo anche fatti un'idea del perché sia necessario disattivare la consapevolezza dell'ambiente esterno durante il sonno. Pensiamo che l'esperienza cosciente del qui e ora si debba interrompere affinché il cervello integri i ricordi nuovi con i vecchi. Il sonno garantisce questa pausa.

La nostra ipotesi è abbastanza discussa fra i neuroscienziati che studiano il ruolo del sonno nell'apprendimento e nella memoria. Noi ipotizziamo infatti che il ritorno al livello basale derivi dall'indebolimento dei collegamenti tra i neuroni attivi nel sonno. Invece l'idea prevalente è che l'attività cerebrale nel sonno *rafforzi* le connessioni neurali coinvolte nell'archiviazione dei nuovi ricordi. Eppure anni di ricerca sugli organismi più diversi – dai moscerini all'uomo – avvalorano la nostra teoria.

Lezioni notturne

L'importanza del sonno per la memoria è stata ipotizzata quasi un secolo fa. Da allora, numerosi esperimenti hanno dimostrato che, dopo una notte di sonno e talvolta dopo un semplice sonnellino, le memorie appena formate «attecchiscono» meglio che trascorrendo lo stesso tempo equivalente da svegli. Questo modello vale sia per le memorie dichiarative – come liste di parole e associazioni tra disegni e luoghi – sia per le memorie procedurali, alla base delle abilità percettive e motorie come, per esempio, suonare uno strumento.

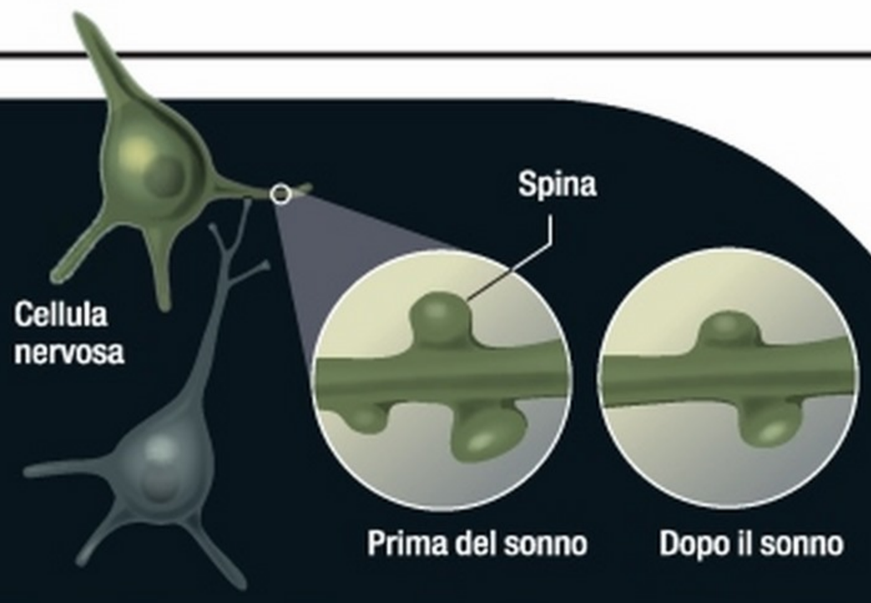
Le prove che il sonno è un toccasana per la memoria hanno indotto a cercare i segni che il cervello rielabora nottetempo il materiale appena imparato. Questi segni sono stati trovati: studi degli ultimi vent'anni – nei roditori e poi nell'uomo – mostrano che l'attività neurale nel sonno ha una struttura simile all'attività registrata nei soggetti da svegli. Per esempio quando un ratto impara a orientarsi in un labirinto specifici neuroni di una parte del suo cervello, l'ippocampo, scaricano, o si attivano, seguendo sequenze specifiche. Durante il sonno successivo, i ratti «rieseguono» queste sequenze più spesso di quanto sarebbe prevedibile in base al caso.

Grazie a questi risultati, molti ricercatori ipotizzano che la «riesecuzione» nel sonno consolidi i ricordi potenziando ulteriormente le sinapsi già rafforzate da svegli. L'idea è che, quando i neuroni collegati scaricano ripetutamente le sinapsi che li connettono più tempestivamente trasmettono i segnali da un neurone al successi-

Jen Christiansen

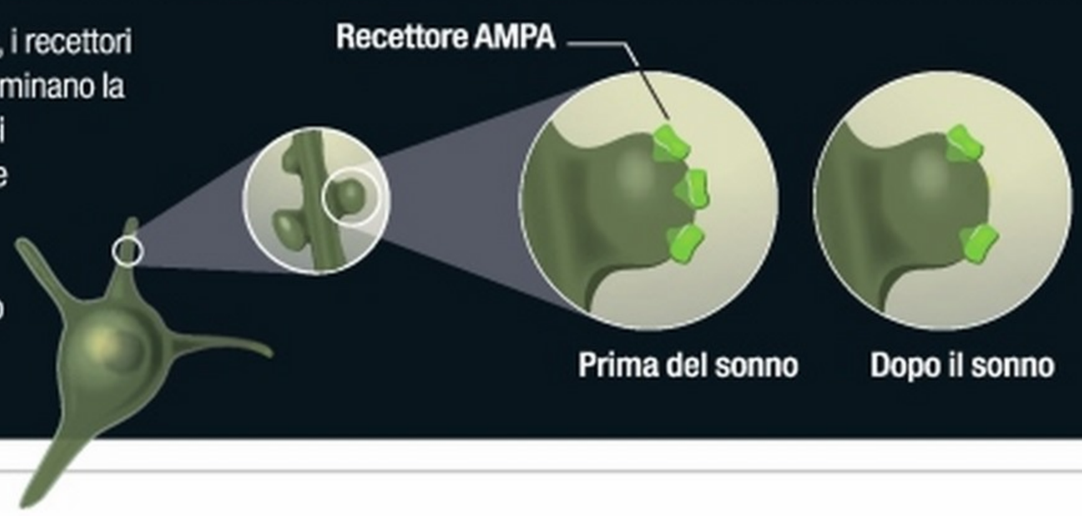
Prove a favore dell'indebolimento delle sinapsi

Il numero di spine sinaptiche – le parti delle sinapsi che rilevano i segnali – nei moscerini e nei topi (*a sinistra*) aumenta durante una giornata di attività stimolante, ma diminuisce dopo il sonno.



Sia nei ratti sia nell'uomo, le cellule nervose stimolate da impulsi elettrici o magnetici rispondono con più forza nel soggetto privato del sonno che nel soggetto riposato. È un segno che il sonno ha ridotto la forza sinaptica.

Alcune molecole, i recettori AMPA, che determinano la forza sinaptica, si moltiplicano nelle sinapsi durante le fasi di veglia, ma diminuiscono dopo il sonno.



vo, aiutando i circuiti neuronali a codificare i ricordi nel cervello. Questo processo di rinforzo selettivo è detto *potenziamento sinaptico*, ed è il meccanismo d'elezione grazie al quale il cervello impara e ricorda.

Ma benché sappiamo che la riesecuzione e il potenziamento avvengono da svegli, non ci sono prove che le sinapsi dei circuiti «rieseguiti» si rafforzino nel sonno. Questa assenza di prove non ci stupisce. Anzi è coerente con il nostro sospetto che, mentre siamo addormentati e inconsapevoli, quella frenetica attività cerebrale – la «riesecuzione» e altre attività neuronali apparentemente casuali – stia *indebolendo* le connessioni neurali, non rinforzandole.

Il costo della plasticità

Molte valide ragioni favoriscono la teoria che le sinapsi debbano indebolirsi, oltre che rafforzarsi, affinché il cervello funzioni correttamente. Per prima cosa, le sinapsi forti consumano più energia di quelle deboli, e le riserve energetiche del cervello non sono infinite. Nell'uomo, il cervello consuma quasi il 20 per cento dell'energia dell'organismo, almeno due terzi della quale alimentano l'attività sinaptica. Inoltre, costruire e rinforzare le sinapsi è una fonte significativa di stress cellulare. Queste attività richiedono infatti alle cellule la sintesi e l'invio di diverse componenti: dai mitocondri (le centrali energetiche della cellula) alle vescicole sinaptiche (che traghettano le molecole segnale) a una serie di proteine e lipidi necessari per la comunicazione sinaptica.

Sembra chiaro che questa richiesta di risorse è insostenibile: il cervello non può rafforzare e alimentare giorno e notte, vita natural durante, sinapsi frenetiche. Non mettiamo in dubbio che il potenziamento sinaptico influenzi l'apprendimento. Ma dubitiamo che continui anche nel sonno.

Viceversa, l'indebolimento sinaptico nel sonno riporterebbe i circuiti cerebrali a una forza e a un'efficacia di base, evitando un consumo eccessivo di energia e lo stress cellulare. Definiamo questa funzione di ripristino svolta dal sonno «conservazione dell'omeostasi sinaptica», e «ipotesi dell'omeostasi sinaptica» – SHY, dall'acronimo inglese – la nostra ipotesi generale sul ruolo del sonno. In linea di principio, la SHY spiega lo scopo essenziale, universale del sonno: riportare il cervello a uno stato in cui può imparare e adattarsi da sveglio. I rischi di scollegarsi dall'ambiente per molte ore alla volta sono il prezzo di questa ricalibrazione neurale. Più in generale, il sonno è il prezzo della plasticità del cervello, ovvero della sua capacità di modificare i circuiti in risposta alle esperienze.

Come spiega la SHY gli effetti salutari del sonno sull'apprendimento e la memoria? Come fanno le sinapsi indebolite a conservare meglio capacità e i fatti? Va considerato che, in una giornata qualunque, quasi ogni esperienza lascia una traccia nel cervello e gli eventi significativi – conoscere una persona o imparare un brano alla chitarra – sono una parte trascurabile di quella codificazione neurale. Per aumentare la memoria, il cervello addormentato deve distinguere il «rumore» dell'informazione trascurabile dai «segnali» degli avvenimenti significativi.

Noi suggeriamo che, nel sonno, la scarica spontanea dei neuroni attivi molti circuiti differenti e in molte differenti combinazioni, di cui fanno parte le nuove tracce mnestiche ma anche le vecchie reti di associazioni apprese. (Un indizio di questa attività neurale disorganizzata si coglie nei sogni). L'attività spontanea permette al cervello di provare quali nuove memorie si adattano meglio a quelle in archivio rivelatesi significative, e indebolisce le sinapsi che stonano nel grande disegno della memoria. Insieme ad altri ricercatori stiamo indagando i meccanismi mediante i quali l'attività cerebrale indebolirebbe selettivamente le sinapsi che codificano il «rumore», preservando al contempo le sinapsi corrispondenti al «segnale».

Mentre il cervello prova questi scenari immaginari e inscena l'indebolimento dove è appropriato, sarebbe meglio che fossimo inconsapevoli dell'ambiente circostante e incapaci di agire su di esso: in altre parole, addormentati. Allo stesso modo il ristabilimento dell'omeostasi sinaptica non dovrebbe avvenire da svegli, quando gli eventi del giorno avrebbero il sopravvento, mettendo in risalto i segnali più recenti, a scapito delle conoscenze accumulate nel cervello nel corso di tutta la vita. Il profondo scollegamento tipico del sonno libera il cervello dalla tirannia del presente, creando le circostanze ideali per integrare e consolidare i ricordi.

Una debole connessione

La nostra proposta, ossia che il cervello usi le scariche neuronali nel sonno per indebolire, anziché rafforzare, le sinapsi, è sostenuta in parte da un'analisi dei dati generati con uno strumento classico nelle

ricerche sul sonno: l'elettroencefalogramma, o EEG. L'EEG registra il pattern dell'attività elettrica della corteccia cerebrale mediante elettrodi applicati al cranio. Qualche decennio fa le registrazioni con l'EEG del cervello addormentato avevano rivelato due categorie principali di sonno, chiamate rispettivamente REM (movimenti oculari rapidi) e NREM, o non REM, che si alternano durante la notte. Ciascuno dei due sonni ha un pattern di onde cerebrali caratteristico. Oltre al tremolio dei bulbi oculari sotto le palpebre chiuse, da cui il nome di sonno REM, in questa fase prevalgono oscillazioni relativamente veloci: rapide salite e discese delle curve del tracciato EEG, simili alle registrazioni EEG dello stato di veglia. Viceversa, il carattere più evidente del sonno NREM sono oscillazioni lente, di frequenza pari a circa un ciclo al secondo.

Dieci anni fa Mircea Steriade, dell'Université Laval, nel Quebec, aveva scoperto che le oscillazioni lente del sonno NREM insorgono quando gruppi di neuroni scaricano insieme per un breve periodo (i cosiddetti periodi *on*), diventano silenti per una frazione di secondo (periodi *off*), e riacquistano infine lo stato sincronizzato. È stata una delle scoperte fondamentali nelle ricerche sul sonno. In seguito si è scoperto che negli uccelli e nei mammiferi le onde lente risultano ampie se sono state precedute da un lungo periodo di veglia e si riducono quando subentra il sonno.

Secondo il nostro ragionamento, se le sinapsi sono forti i neuroni aumentano la sincronia delle scariche elettriche generando onde lente più ampie, e se le sinapsi sono deboli i neuroni saranno meno sincronizzati e le onde lente più piccole. Dai risultati di simulazioni al computer ed esperimenti sull'uomo e su animali abbiamo dedotto che le ampie e ripide onde lente delle prime fasi della notte indicano che le sinapsi sono state rafforzate dal precedente stato di veglia; invece le onde lente piccole e più piatte registrate al mattino presto indicano che le sinapsi si sono indebolite nel sonno.

Un sostegno diretto alla teoria che le sinapsi si indeboliscono nel sonno, e che subirebbero addirittura una potatura, viene dagli studi sugli animali. Per esempio nel moscerino della frutta riscontriamo che il sonno inverte l'aumento progressivo del numero e delle dimensioni delle sinapsi verificatosi di giorno, in particolare quando i moscerini sono esposti ad ambienti stimolanti. Per inciso, le spine sinaptiche sono protrusioni specializzate su una ramificazione del neurone che riceve i segnali. Quando i moscerini trascorrono la giornata interagendo con i loro simili, la sera i neuroni di ogni parte del loro cervello generano per gemmazione più spine sinaptiche di quelle presenti al mattino.

E, cosa altrettanto straordinaria, il mattino seguente il numero di spine ritorna al livello basale se – e solo se – i moscerini hanno potuto dormire. Abbiamo osservato un fenomeno simile nella corteccia cerebrale dei topi adolescenti: il numero di spine sinaptiche aumentava quando gli animali erano svegli e si riduceva dopo che avevano dormito. Nei roditori adulti l'esito è stato identico. In questo caso, però, nello stato di veglia e nel sonno varia non tanto il numero di spine sinaptiche, quanto la diffusione di determinate molecole delle spine, i recettori AMPA, molecole che determinano la forza delle sinapsi. Monitorando i recettori AMPA abbiamo riscontrato che il loro numero per sinapsi aumentava dopo lo stato di veglia e diminuiva dopo il sonno: un numero maggiore di recettori è il segno che le sinapsi sono più forti; un numero inferiore che si sono indebolite.

La forza sinaptica si può misurare direttamente con una sonda elettrica che stimola le fibre neurali della corteccia. I neuroni rispondono con una scarica elettrica indotta, che risulta maggiore quando le sinapsi sono forti, e minore quando le connessioni sono deboli. Abbiamo dimostrato che, nei ratti, i neuroni stimolati scaricano con forza maggiore dopo alcune ore di veglia, e con forza minore dopo il sonno.

Marcello Massimini, dell'Università di Milano, e Reto Huber, ora all'Università di Zurigo, hanno eseguito un esperimento analogo nell'uomo. Invece di una sonda elettrica hanno usato la stimolazione magnetica transcranica – un breve impulso magnetico applicato al cranio – per stimolare i neuroni sottostanti, e hanno poi registrato la forza delle risposte corticali con l'EEG ad alta densità. I risultati sono stati inequivocabili: più a lungo il soggetto rimaneva sveglio, più ampie erano le risposte dell'EEG. Era necessaria una notte di sonno affinché le risposte corticali ritornassero al livello basale.

I vantaggi della sobrietà

La conclusione comune degli esperimenti da noi eseguiti nell'arco di vent'anni è che l'attività corticale spontanea del sonno indebolisce le connessioni sinaptiche nei circuiti neurali sia smorzando la loro capacità di inviare impulsi elettrici sia eliminandole del tutto.

Questo processo, che abbiamo chiamato selezione riduttiva (*down selection*), garantirebbe la sopravvivenza dei circuiti «più idonei», vuoi perché erano stati attivati con più forza e coerenza durante la veglia (per esempio suonando le note giuste sulla chitarra durante l'apprendimento di un nuovo brano), vuoi perché si sono integrati meglio con i ricordi precedenti, più vecchi (come accadrebbe imbattendosi in una nuova parola in una lingua conosciuta). Invece le sinapsi dei circuiti potenziate solo lievemente nello stato di veglia (come le note mancate con la chitarra) o che meno si adattano ai vecchi ricordi (come una nuova parola presentata in una lingua sconosciuta) sarebbero depresse.

L'uso prolungato o intenso di determinati circuiti può far «addormentare» gruppi locali di neuroni persino se il resto del cervello è sveglio

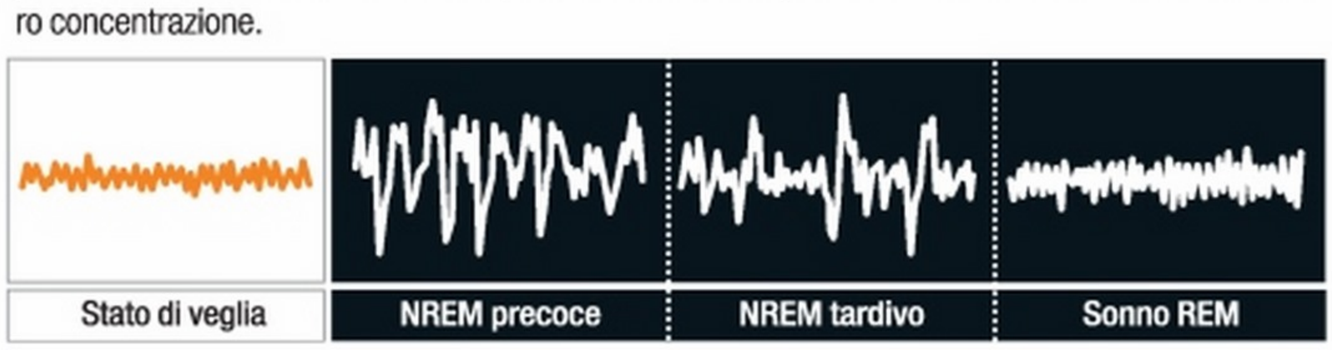
La selezione riduttiva garantirebbe che gli eventi poco significativi non lascino tracce durevoli nei circuiti neurali, e che invece i ricordi degni di nota siano conservati. Inoltre la selezione riduttiva farebbe spazio a un altro ciclo di rinforzo sinaptico durante lo stato di veglia. In effetti alcuni dati suggeriscono che il sonno, fra i molti altri vantaggi che arreca all'apprendimento e alla memoria, favorisce l'acquisizione successiva di nuovi ricordi (il materiale incontrato prima della fase di sonno successivo). Numerosi studi hanno dimostrato che dopo una notte di sonno impariamo nuovo materiale assai meglio che se fossimo stati svegli per un giorno intero.

Benché manchino ancora le prove dirette di un meccanismo che genera l'indebolimento selettivo delle sinapsi attivate, un'idea di come potrebbe avvenire ce la siamo fatta. Sospettiamo che, nei mammiferi, un ruolo lo svolgano le onde lente del sonno NREM. In esperimenti di laboratorio su tessuto cerebrale di ratto è stato osservato che le cellule nervose perdono efficacia nella trasmissione dei segnali quando sono stimolate imitando i cicli sincronizzati on/off del sonno a onde lente.

UN POSSIBILE MECCANISMO

Il sonno arriva a ondate

Le registrazioni dell'attività elettrica nel cervello illustrano come le onde cerebrali subiscono variazioni caratteristiche nel corso della notte mentre il dormiente alterna il sonno con movimenti oculari rapidi (REM) e il sonno non REM (NREM) (*disegno*). Le onde più lente del sonno NREM diminuiscono di ampiezza nel corso della notte, e questo andamento suggerisce che le sinapsi coinvolte in queste onde si indeboliscono. Gli autori ipotizzano che l'indebolimento avvenga nel sonno NREM perché alcune sostanze necessarie per rafforzare le sinapsi attivate riducono notevolmente la loro concentrazione.



Nel sonno NREM si modifica anche la chimica del cervello, contribuendo all'indebolimento sinaptico. Nell'individuo in stato di veglia un brodo concentrato di molecole segnale – come l'acetilcolina, la noradrenalina, la dopamina, la serotonina, l'istamina e l'ipocretina – inonda il cervello e predispone le sinapsi a rinforzarsi quando i segnali le attraversano. Tuttavia nel sonno, in particolare in quello NREM, il brodo è molto meno concentrato. Questo ambiente di neuromodulatori diluito predisporrebbe i circuiti neurali a indebolire le sinapsi – invece che a rafforzarle – quando i segnali le attraversano. Questo processo coinvolgerebbe anche il fattore neurotrofico di derivazione cerebrale (BDNF), una sostanza che favorisce il rinforzo sinaptico ed è implicata nell'acquisizione dei ricordi. I livelli di BDNF sono infatti elevati nei neuroni durante lo stato di veglia e minimi durante il sonno.

Il sonno locale

A prescindere dai meccanismi e dai processi selettivi specifici, ci sono solide prove che, in varie specie animali, la forza sinaptica complessiva aumenta nella veglia e diminuisce nel sonno: proprio il cuore della previsione della SHY. Possiamo mettere ulteriormente alla prova l'ipotesi esaminandone alcune interessanti conseguenze.

Per esempio, se l'ipotesi è corretta allora più una parte del cervello è plastica nello stato di veglia, più avrebbe bisogno di dormire. Il «bisogno di sonno» può, a sua volta, essere segnalato da un aumento di ampiezza e di durata delle onde lente NREM. Per verificare questa previsione abbiamo chiesto ad alcuni volontari di imparare un nuovo esercizio. Consisteva nel raggiungere un bersaglio sullo schermo di un computer mentre il cursore (controllato da un mouse) veniva sistematicamente ruotato. La parte del cervello coinvolta in questa forma di apprendimento è la corteccia parietale destra.

Come previsto, quando i soggetti dormivano, le onde lente della loro corteccia parietale destra erano più ampie al confronto con le onde nella stessa area, registrate però la sera prima dell'apprendimento. Queste onde ampie si erano appiattite nel corso della notte, proprio come tali oscillazioni. Ma quelle ampie onde localizzate all'inizio della notte ci dicono che una particolare area del cervello è stata esaurita dall'esercizio che avevamo assegnato.

Da allora molti altri esperimenti, eseguiti da noi e da altri ricercatori, hanno confermato che l'apprendimento, e più in generale l'attivazione delle sinapsi nei circuiti, genera un aumento locale del bisogno di sonno. Recentemente abbiamo addirittura scoperto che l'uso prolungato o intenso di determinati circuiti può far «addormentare» gruppi locali di neuroni, persino se il resto del cervello (e pure l'organismo) rimane sveglio. Così, se un ratto rimane sveglio più a lungo del normale alcuni neuroni corticali mostrano brevi periodi di silenzio, praticamente indistinguibili dai periodi off osservati nel sonno a onde lente. Eppure il ratto continua a fare la sua vita, con gli occhi aperti, come qualunque suo simile sveglio.

Questo fenomeno, il *sonno locale*, è oggetto di studio di altri colleghi. Le nostre ricerche più recenti indicano che periodi off localizzati si manifestano anche nel cervello di persone deprivate del sonno, e che questi periodi aumentano di frequenza dopo un apprendimento intenso. Quando rimaniamo svegli troppo a lungo, o quando abbiamo sovraccaricato determinati circuiti, piccoli blocchi del cervello schiacciano un pisolino a nostra insaputa. Viene da chiedersi quanti errori di valutazione, errori banali, risposte irritate e umore nero siano causati dal sonno locale nel cervello di persone esaurite che si credono perfettamente sveglie e nel pieno controllo.

La SHY predice, inoltre, che il sonno è di vitale importanza nell'infanzia e nell'adolescenza, che, come dimostrano molti studi, sono periodi di apprendimento concentrato e di intenso rimodellamento delle sinapsi. Nella giovinezza le sinapsi sono formate, rinforzate e potate con una frequenza esplosiva, sconosciuta nell'adulto. È ragionevole che la selezione riduttiva durante il sonno sia decisiva per ridurre al minimo i costi energetici di questo frenetico rimodellamento sinaptico e per favorire la sopravvivenza dei circuiti neurali adattativi in questi stadi della vita. Viene naturale chiedersi che cosa succede quando il sonno è disturbato o insufficiente in periodi decisivi dello sviluppo. Questa carenza potrebbe alterare la rifinitura dei circuiti neurali? In caso affermativo, l'effetto della perdita del sonno sarebbe ben più di una dimenticanza o di un errore di giudizio occasionali: sarebbe un cambiamento durevole nei circuiti del cervello.

Non vediamo l'ora di verificare le previsioni della SHY e di esplorare ulteriormente le sue implicazioni. Ci auguriamo, per esempio, di scoprire se la deprivazione del sonno durante lo sviluppo neurale genera cambiamenti nella organizzazione dei circuiti cerebrali. Vorremmo anche saperne di più sull'effetto del sonno su aree del cervello profondo, come il talamo, il cervelletto, l'ipotalamo e il tronco cerebrale, e sul ruolo del sonno REM nella omeostasi sinaptica. A quel punto forse capiremmo se il sonno è davvero il prezzo della plasticità nello stato di veglia, un prezzo che ogni cervello e ogni neurone devono pagare. ■

PER APPROFONDIRE

Is Sleep Essential? Cirelli C. e Tononi G., in «PLoS Biology», Vol. 6, n. 8, pp. 1605-1611, agosto 2008.

The Memory Function of Sleep. Diekelmann S. e Born J., in «Nature Reviews Neuroscience», Vol. 11, n. 2, pp. 114-126, febbraio 2010.

Local Sleep in Awake Rats. Vyazovskiy V. e altri, in «Nature», Vol. 472, pp. 443-447, aprile 2011.

Sleep and Synaptic Homeostasis: Structural Evidence in Drosophila. Bushey D. e altri, in «Science», Vol. 332, pp. 1576-1581, giugno 2011.

FISICA QUANTISTICA

Che cosa

è reale?

I fisici parlano di un mondo fatto di particelle e campi di forze, ma non è chiaro che cosa siano particelle e campi di forze in ambito quantistico. Invece il mondo potrebbe essere composto da fasci di proprietà, quali il colore e la forma

di Meinard Kuhlmann

Meinard Kuhlmann, professore di filosofia all'Università di Bielefeld, in Germania, è laureato sia in fisica sia in filosofia e ha lavorato presso le università di Oxford, Chicago e Pittsburgh.

I fisici sono soliti descrivere l'universo come composto da particelle subatomiche che si attraggono e si respingono a vicenda per mezzo di campi di forze. Chiamano questo ambito di studi «fisica delle particelle» e gli strumenti che usano «acceleratori di particelle»: seguono un modello del mondo che somiglia al Lego. Ma questa visione delle cose nasconde un fatto poco conosciuto: l'interpretazione della meccanica quantistica in termini di particelle e quella in termini di campi forzano i concetti usuali di «particella» e di «campo», al punto che molti pensano che il mondo potrebbe essere fatto di tutt'altro.

Il problema non è che ai fisici manchi una valida teoria del mondo subatomico. Ce l'hanno: è la teoria quantistica dei campi. I fisici teorici l'hanno sviluppata tra la fine degli anni venti e l'inizio degli anni cinquanta, unendo la meccanica quantistica con la teoria della relatività ristretta di Einstein. La teoria quantistica dei campi fornisce le basi concettuali del modello standard della fisica delle particelle, che descrive in modo unificato i costituenti fondamentali della materia e le loro interazioni. In termini di precisione empirica, è la teoria di maggior successo nella storia della scienza. I fisici la usano quotidianamente per calcolare l'esito delle collisioni tra particelle, la sintesi della materia nel big bang, le condizioni estreme all'interno dei nuclei e molto altro.

Quindi può sorprendere che non siano neppure sicuri di che cosa dica la teoria, di quale sia la sua «ontologia», il quadro fisico che delinea. Questa incertezza è diversa dai noti misteri della meccanica quantistica, come il problema se un gatto in una scatola sigillata possa essere vivo e morto allo stesso tempo. La mancanza di un'interpretazione definitiva della teoria quantistica dei campi impedisce il progresso verso la fisica oltre il modello standard, come la teoria delle stringhe. È azzardato formulare una nuova teoria, quando ancora non capiamo quella che abbiamo.

A prima vista il contenuto del modello standard pare ovvio. È composto da gruppi di particelle elementari, come quark ed elettroni, e da quattro tipi di campi di forza, che mediano le interazioni tra le particelle. Questa immagine compare sulle pareti delle aule scolastiche e sulle pagine di «Le Scienze». Ma per quanto possa apparire convincente non soddisfa del tutto.

Per cominciare, le due categorie tendono a confondersi. La teoria quantistica dei campi assegna un campo a ogni tipo di particella elementare, così esiste un campo dell'elettrone con la stessa certezza con cui esiste un elettrone. D'altro canto i campi di forze sono quantizzati, non continui, il che genera particelle come il fotone. Quindi la distinzione tra campi e particelle appare artificiale, e spesso i fisici si esprimono in modo da attribuire un ruolo più fondamentale agli uni o alle altre. Il dibattito ferve da qualche tempo: in ultima analisi la teoria quantistica dei campi parla di particelle o campi? È cominciata come una lotta tra titani, con fisici e filosofi illustri in entrambe le fazioni. Entrambi i concetti sono ancora in uso a fini illustrativi, anche se la maggioranza dei fisici ammetterebbe che i concetti classici non corrispondano a quanto dice la teoria. Se le immagini mentali evocate dalle parole «particella» e «campo» non corrispondono alla teoria, i fisici e i filosofi devono capire che cosa mettere al loro posto.

Dato che le due opzioni classiche formano un intoppo, alcuni filosofi della fisica hanno ipotizzato che i costituenti basilari del mondo siano entità intangibili come relazioni o proprietà. Un'idea particolarmente radicale è che tutto si possa ridurre a soli concetti intangibili, senza alcun riferimento a singoli oggetti. È un'ipotesi controintuitiva e rivoluzionaria, ma alcuni sostengono che sia la fisica a portarci in questa direzione.

Il problema delle particelle

Molte persone, compresi gli esperti, quando pensano alla realtà subatomica immaginano particelle che si comportano come piccole palle da biliardo che rimbalzano l'una contro l'altra. Ma questa idea delle particelle è un residuato di una visione del mondo che risale agli antichi atomisti greci e ha toccato l'apice nelle teorie di Isaac Newton. Varie linee di pensiero hanno chiarito che le

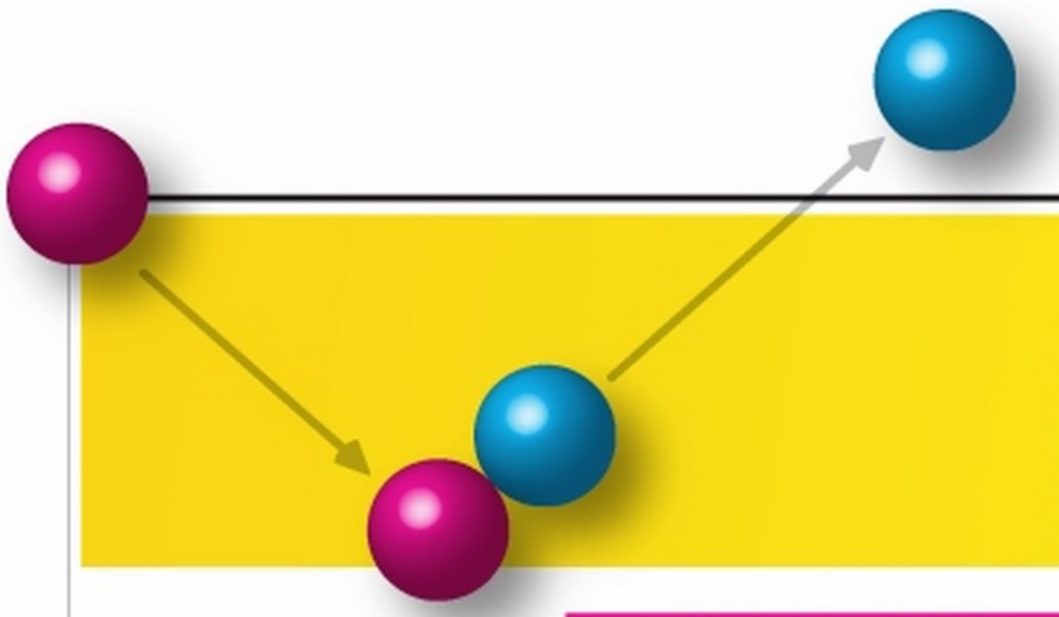
Pagine precedenti: Sarah Guido (*styling*); Travis Rathbone (*fotografie*)

IN BREVE

È ragionevole pensare che la fisica delle particelle si occupi di particelle, e molti immaginano piccole palle da biliardo che carambolano nello spazio. Il concetto di «particella», però, viene meno se lo si esamina più da vicino.

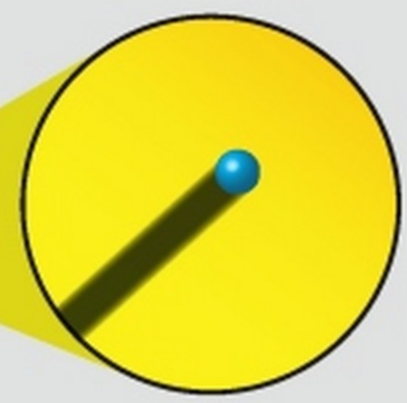
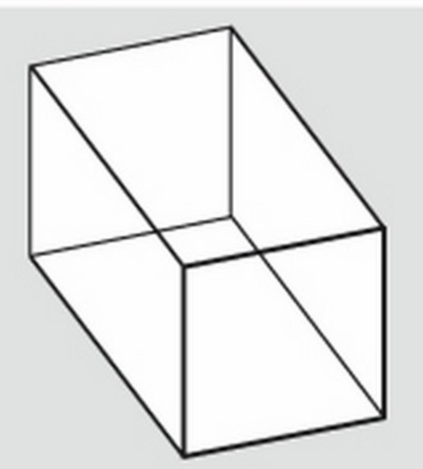
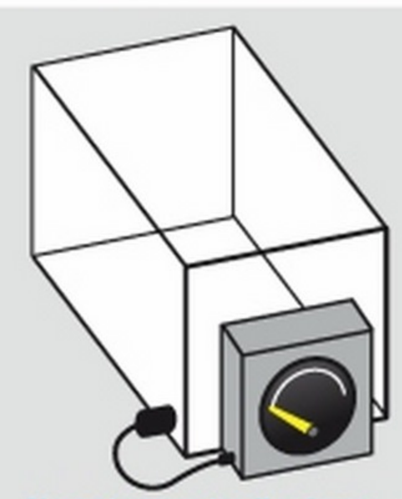
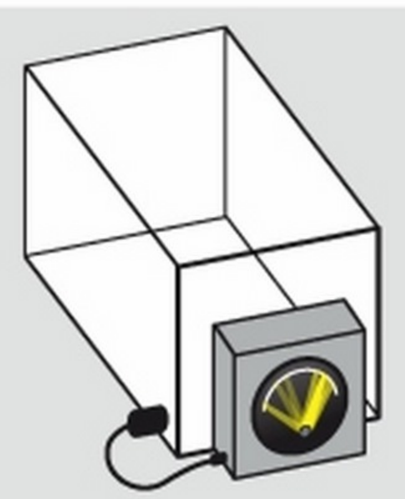
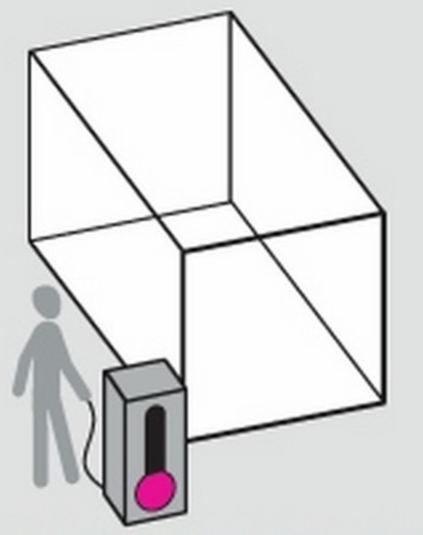
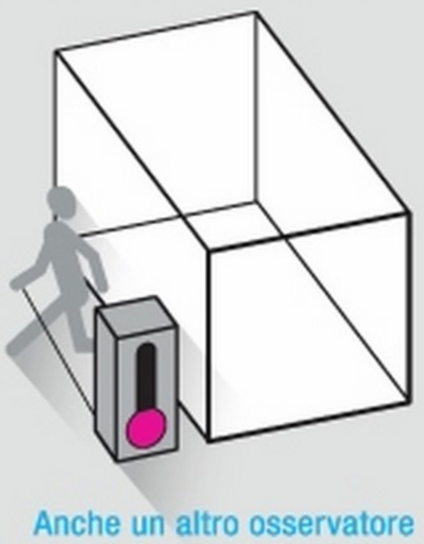
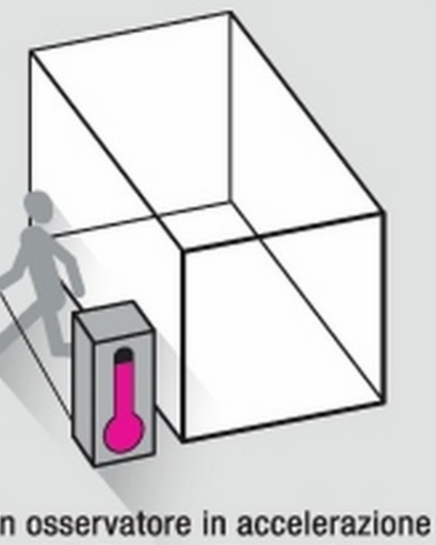
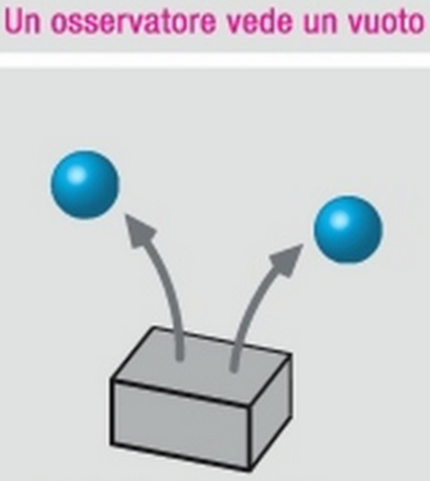
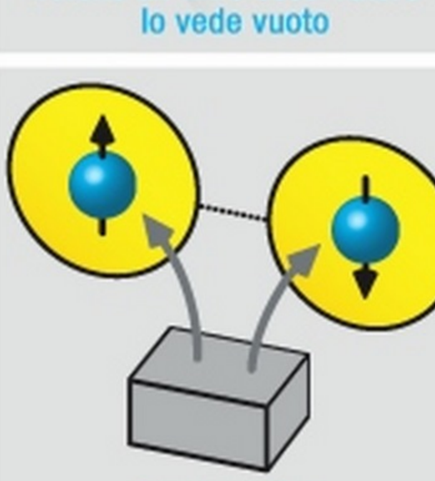
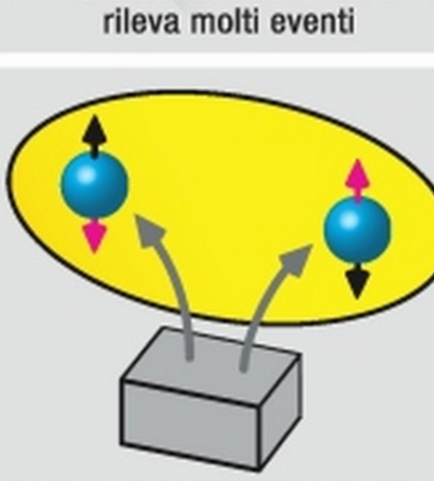
Molti fisici ritengono che le particelle non siano oggetti, ma eccitazioni di un campo quantistico, il successore moderno dei campi classici come il campo magnetico. Ma anche i campi generano paradossi.

Se particelle e campi non sono fondamentali, che cosa lo è? Alcuni ricercatori pensano che il mondo, al livello più basso, non sia formato da oggetti materiali, ma da relazioni o proprietà, come la massa, la carica e lo spin.



Non solo palline

È perdonabile pensare che la fisica delle particelle parli di particelle. In realtà, però, le «particelle» descritte dalla teoria quantistica non si accordano con il senso usuale del termine, che si riferisce a componenti discreti e localizzati della materia. Per esempio sono prive dei quattro attributi classici qui elencati.

	Che cosa vediamo/ calcoliamo/facciamo	Che cosa deduciamo	Perché è sbagliato
Le particelle sono localizzate Per definizione, una particella è qualcosa con una posizione specifica, che varia nel tempo quando si muove. Ma la teoria quantistica come la si intende non permette a nulla di avere una traiettoria del genere. Anche se strumenti come la camera a bolle rilevano tracce, è sbagliato dedurne la presenza di oggetti che si muovano nello spazio. Le tracce sono solo una serie di eventi.	 Tracce in una camera a bolle	 Le particelle volano per la camera lasciando tracce	 Quello che vediamo è in realtà solo una successione di bolle. È sbagliato collegarle tra loro.
In assenza di particelle non può accadere nulla Se sono le particelle che formano la materia, allora un vuoto, uno stato di zero particelle, non dovrebbe mostrare attività. Ma la teoria quantistica prevede che un contatore Geiger o uno strumento simile posto da qualche parte all'interno del vuoto registri la presenza di materia. Quindi la materia non può essere composta dagli oggetti che in genere chiamiamo «particelle».	 Un campo nello stato di vuoto	 Uno strumento di misura come un contatore Geiger non rileverebbe nulla	 Un contatore Geiger ticchetta
Una particella o esiste o non esiste Per stabilire se qualcosa è reale, i fisici usano una semplice verifica: tutti gli osservatori devono concordare sull'esistenza di quella cosa. Le «particelle» che i fisici osservano in natura non superano questo test. Se un osservatore in quiete vede un vuoto, uno in accelerazione vede un gas caldo di particelle, il che fa pensare che le particelle siano come un miraggio.	 Un osservatore vede un vuoto	 Anche un altro osservatore lo vede vuoto	 Un osservatore in accelerazione rileva molti eventi
Le particelle hanno proprietà specifiche Si suppone che le particelle abbiano energia, quantità di moto e così via. Ma la meccanica quantistica permette agli oggetti di entrare in *entanglement* e di agire come un unico ente anche se non ci sono palesi collegamenti tra loro. In questo caso le presunte particelle non hanno proprietà definite; le ha il sistema.	 Produciamo una coppia di particelle in entanglement	 Ogni particella ha uno spin ben definito	 Solo il sistema nel suo complesso ha uno spin ben definito

Illustrazioni di Jen Christiansen

unità fondamentali della teoria quantistica dei campi non si comportano affatto come palline.

Primo, il concetto classico di particella implica qualcosa che esiste in una posizione precisa. Ma le «particelle» della teoria quantistica dei campi non hanno posizioni definite: una particella nel nostro corpo non si trova nel nostro corpo in senso stretto. Un osservatore che cercasse di misurarne la posizione ha una probabilità piccola ma non nulla di rilevarla nei luoghi più remoti dell'universo. Questa contraddizione era già evidente nelle prime formulazioni della meccanica quantistica, ma è peggiorata quando i teorici unirono la meccanica quantistica alla teoria della relatività. Le particelle quantistiche relativistiche sono sfuggenti; non si trovano in nessuna regione specifica dell'universo.

Secondo, supponiamo di avere una particella localizzata nella nostra cucina. Un amico, guardando la nostra casa mentre passa in automobile, potrebbe vederla diffusa per l'intero universo. Quello che è localizzato per noi è delocalizzato per il nostro amico. Non solo la localizzazione della particella dipende dal nostro punto di vista, ma ne dipende anche il fatto stesso che abbia o meno una localizzazione. Stando così le cose, non ha senso assumere particelle localizzate come entità base.

Terzo, anche se rinunciamo a localizzare le particelle e ci limitiamo a contarle, avremo problemi. Supponiamo di voler conoscere il numero di particelle di casa nostra. Andiamo in giro per casa e troviamo tre particelle in sala da pranzo, cinque sotto il letto, otto in un pensile della cucina e così via. Adesso sommiamole. Saremo sbigottiti nello scoprire che la somma non sarà uguale al numero totale di particelle. Questo numero, in teoria quantistica dei campi, è una proprietà della casa nel suo complesso; per determinarlo dovremmo fare qualcosa di impossibile e misurare l'intera casa in un colpo solo, anziché procedere stanza per stanza.

Un caso estremo in cui è impossibile localizzare le particelle è il vuoto, che nella teoria quantistica dei campi ha proprietà paradossali. È possibile avere qualcosa che complessivamente è un vuoto, per definizione uno stato con zero particelle, ma in cui allo stesso tempo si può osservare qualcosa di molto diverso dal vuoto in ogni regione finita. In altre parole, casa nostra può essere deserta anche se troviamo particelle dappertutto. Se i vigili del fuoco vi chiedono se in una casa che brucia c'è qualcuno e voi rispondete di no, metteranno in dubbio la vostra sanità mentale se scoprono persone accalcate in ogni stanza.

Un'altra caratteristica singolare del vuoto nella teoria quantistica dei campi è l'effetto Unruh. Un astronauta a riposo potrebbe pensare di trovarsi nel vuoto là dove un astronauta in una navicella spaziale che accelera si sentirà immerso in un bagno termico di innumerevoli particelle. La discrepanza tra i punti di vista si verifica anche alla frontiera dei buchi neri e porta a conclusioni paradossali sul destino della materia che vi cade dentro (si veda *I buchi neri e il paradosso dell'informazione*, di Leonard Susskind, in «Le Scienze» n. 346, giugno 1997). Se un vuoto pieno di particelle sembra un'assurdità, è perché il concetto tradizionale di particella ci mette fuori strada; la teoria descrive qualcosa di diverso. Se il numero di particelle dipende dall'osservatore, non sembra coerente assumere che le particelle siano fondamentali. Possiamo accettare che molte proprietà siano dipendenti dall'osservatore, ma non la questione in sé di quanti componenti ultimi ci siano.

Infine, la teoria prevede che le particelle possano perdere la propria individualità. Nell'enigmatico fenomeno dell'*entanglement*, le particelle possono essere assimilate in un sistema più grande e rinunciare alle proprietà che le distinguono l'una dall'altra. Le presunte particelle non condividono solo proprietà innate come la massa e la carica, ma anche proprietà spaziali e temporali come l'insieme di posizioni in cui è possibile trovarle. Quando le particelle sono in entanglement, un osservatore non ha modo di distinguerle. A quel punto abbiamo ancora due oggetti?

Un teorico potrebbe decretare che le nostre due particelle siano in effetti due individui distinti. I filosofi chiamano questa posizione *primitive thisness* («ecceità primitiva»). Per definizione, questa ecceità è inosservabile. La maggior parte di fisici e filosofi è scettica nei confronti di questi approcci *ad hoc*. Sembra piuttosto che non siamo più in presenza di due particelle. Il sistema in entanglement si comporta come un tutto indivisibile, e il concetto di «parte», per non parlare delle particelle, perde di significato.

Questi problemi teorici relativi alle particelle contrastano con l'esperienza. Che cosa rilevano i «rivelatori di particelle» se non particelle? La risposta è che le particelle sono sempre una deduzione. Quello che registrano i rivelatori è un gran numero di eccitazioni distinte del materiale dei sensori. I problemi iniziano quando uniamo i puntini e deduciamo l'esistenza di particelle con traiettorie che si possono seguire nel tempo. Attenzione: ci sono interpretazioni minoritarie della meccanica quantistica che ragionano in termini di traiettorie ben definite. Ma hanno anch'esse le loro difficoltà, e io mi attengo al punto di vista standard (si veda *L'alternativa di Bohm alla meccanica quantistica*, di David Z Albert, in «Le Scienze» n. 311, luglio 1994).

Le particelle elementari sono una deduzione, quello che i rivelatori registrano sono le eccitazioni dei materiali dei sensori

Ricapitoliamo. Immaginiamo le particelle come piccole palle da biliardo, ma le cose che i fisici chiamano «particelle» non sono niente del genere. Secondo la teoria quantistica dei campi, gli oggetti non si possono localizzare in una regione finita di spazio, per quanto grande o sfumata. Inoltre il numero di particelle dipende dallo stato di moto dell'osservatore. Questi risultati suonano come una campana a morto per l'idea che la natura sia formata da particelle fatte come palline.

Sulla base di queste e altre scoperte dobbiamo concludere che «fisica delle particelle» sia una denominazione impropria; nonostante il fatto che i fisici continuano a parlare delle particelle, non esistono veramente. Potremmo parlare di «particelle quantistiche», ma che cosa giustifica l'uso della parola «particella», se non è sopravvissuto quasi nulla del concetto classico di particella? È meglio abbandonare questo concetto. Alcuni considerano queste difficoltà come un indizio indiretto a favore di un'interpretazione della teoria quantistica dei campi puramente orientata ai campi. Secondo questo ragionamento, le particelle sono increspature in un campo che riempie lo spazio come un fluido invisibile. Ma, come vedremo, la teoria quantistica dei campi non si può neanche interpretare comodamente in termini di campi.

Il problema dei campi

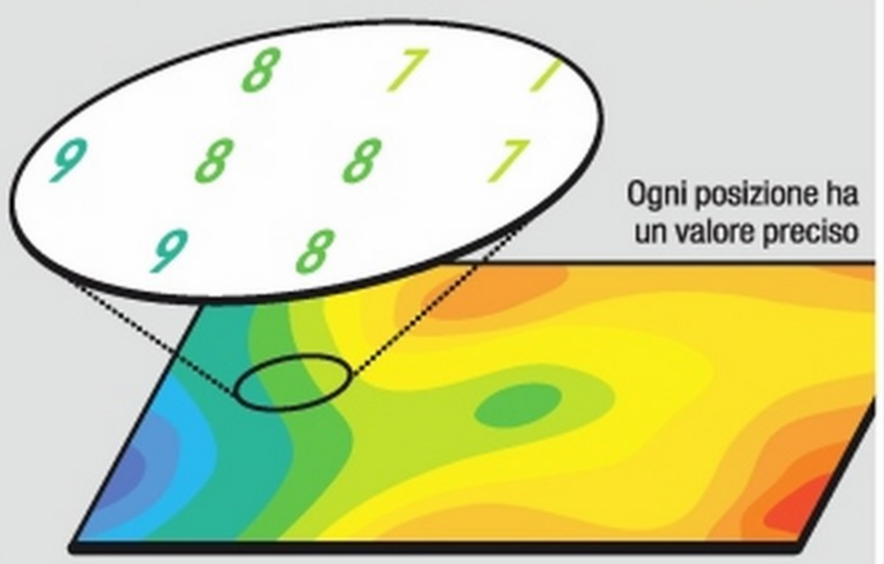
Il nome «teoria quantistica dei campi» si riferisce ovviamente a una teoria che si occupa di versioni quantistiche dei campi classici, come quelli elettrico e magnetico. Ma che vuol dire «versione quantistica»? Il termine «campo» evoca i campi magnetici che fanno allineare la limatura di ferro attorno a una calamita e i campi

Non sogniamo in mezzo ai campi

I fisici chiamano la principale teoria della materia «teoria quantistica dei campi». Si direbbe che sia una teoria sui campi. Invece gli oggetti descritti dalla teoria non sono quello che i fisici intendono classicamente per «campo».

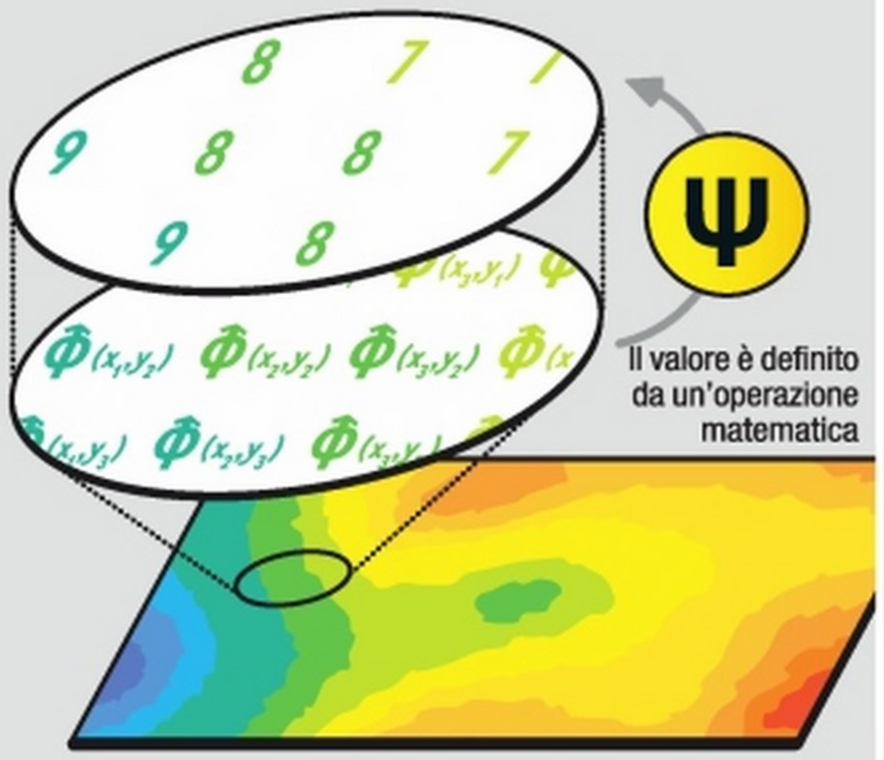
Campo classico

Per definizione un campo è come una sostanza simile a un fluido che pervade lo spazio. Ogni punto ha uno stato misurabile. Un esempio è il campo elettrico: l'intensità del campo è maggiore vicino ai cavi, agli oggetti carichi e così via. Se mettiamo una particella carica in qualche punto del campo, l'intensità determina che forza agirà sulla particella e che accelerazione subirà. Il campo definisce anche la direzione in cui sarà accelerata (*non mostrata*).



Campo quantistico

I campi descritti dalla teoria quantistica non rientrano in questa definizione. A un punto nello spazio non è assegnata una specifica grandezza fisica, ma solo uno spettro di possibili grandezze. Il valore scelto effettivamente dipende da un oggetto matematico a sé stante, il vettore di stato, che non è assegnato a nessuna posizione specifica: abbraccia tutto lo spazio.



elettrici che fanno rizzare i capelli, ma un campo quantistico è così diverso da uno classico che persino i fisici teorici ammettono di riuscire a stento a visualizzarlo.

Un campo assegna una grandezza fisica, come temperatura o intensità di un campo elettrico, a ogni punto dello spazio-tempo. Un campo quantistico assegna invece entità matematiche, che rappresentano il tipo di misurazioni che si potrebbero effettuare invece del risultato che otterremmo. Alcune costruzioni matematiche di questa teoria rappresentano valori fisici, ma non le si può assegnare a punti dello spazio-tempo, solo a regioni diffuse.

I fisici hanno sviluppato la teoria quantistica dei campi «quantizzando» la teoria classica dei campi. Per farlo, si prende un'equazione e si sostituiscono i valori fisici con «operatori», cioè operazioni matematiche come derivazione o estrazione di radice; alcuni operatori possono corrispondere a specifici fenomeni fisici come emissione e assorbimento di luce. Gli operatori pongono un livello di astrazione tra teoria e realtà. Un campo classico è come una mappa meteo con la temperatura in varie città. La versione quantistica è come una mappa meteo che non mostra «40 gradi», ma «√». Per ottenere un valore effettivo di temperatura dovremmo svolgere il passo aggiuntivo che consiste nell'applicare l'operatore a un'altra entità matematica, il vettore di stato, che rappresenta la configurazione del sistema in questione.

Da un certo punto di vista questa peculiarità dei campi quantistici non sorprende. Anche la meccanica quantistica, la teoria su cui si basa la teoria quantistica dei campi, non si occupa di valori determinati, ma solo di probabilità. Da queste probabilità è necessario un passo in più per calcolare la grandezza media che ci si aspetta di osservare con una misurazione. Ma più da vicino la situazione è molto più insolita. Un campo quantistico non specifica neppure le probabilità; per farlo deve combinarsi con il vettore di stato.

Il bisogno di applicare il campo quantistico al vettore di stato rende la teoria molto difficile da interpretare e da tradurre in qualcosa di fisico che si può immaginare e manipolare con la mente. Il vettore di stato è olistico; descrive il sistema come un tutto, e non si riferisce a nessun punto in particolare. Il suo ruolo è in contrasto con la caratteristica alla base dei campi, che è quella di essere diffusi in tutto lo spazio-tempo. Un campo classico ci permette di visualizzare fenomeni come la luce sotto forma di onde che si propagano nello spazio. Il campo quantistico elimina questa immagine e ci lascia senza un modo per dire come funziona il mondo.

Quindi il quadro standard delle particelle elementari e dei campi di forze non è un'ontologia soddisfacente del mondo. Non è neppure chiaro che cosa sia una particella o un campo. Una risposta è che particelle e campi si debbano vedere come aspetti complementari della realtà. Ma questa caratterizzazione non aiuta, perché nessuno di questi due modi di vedere le cose funziona nei casi in cui ci aspetteremmo di vederne uno nella forma più pura. Per fortuna i punti di vista di particelle e campi non esauriscono le possibili ontologie per la teoria quantistica dei campi.

Le strutture vengono in aiuto?

Sempre più persone pensano che sono le relazioni in cui si trovano le cose a essere importanti, non le cose stesse. Questo punto di vista contrasta con le concezioni tradizionali atomiste o divisioniste del mondo in modo più netto di quanto possano fare le varianti più estreme delle ontologie basate su particelle e campi.

All'inizio questa posizione, detta realismo strutturale, apparve in una versione moderata, nota come realismo strutturale epistemico. Funziona così: è possibile che non conosceremo mai la vera natura delle cose ma solo come sono correlate tra loro. Prendiamo

l'esempio della massa. Vediamo la massa in sé? No. Vediamo solo le sue relazioni con altri enti o, concretamente, come un corpo dotato di massa interagisce con un altro corpo dotato di massa attraverso il campo gravitazionale locale. La struttura del mondo, che riflette come le cose sono correlate, è la parte più duratura delle teorie fisiche. Nuove teorie possono ribaltare la nostra idea dei costituenti basilari del mondo, ma tendono a conservare le strutture. È così che gli scienziati fanno progressi.

Adesso si pone la seguente domanda: qual è la ragione per cui possiamo conoscere solo le relazioni fra le cose e non le cose stesse? La risposta più semplice è che non esiste altro che le relazioni. Questo salto fa del realismo strutturale un approccio più radicale, detto realismo strutturale ontico.

Le innumerevoli simmetrie della fisica aggiungono credibilità al realismo strutturale ontico. Sia nella meccanica quantistica sia nella teoria della gravità einsteiniana certi cambiamenti di configurazione del mondo, noti come trasformazioni di simmetria, non hanno conseguenze empiriche. Queste trasformazioni scambiano i singoli oggetti che compongono il mondo ma lasciano immutate le loro relazioni. Consideriamo per analogia un viso simmetrico. Uno specchio scambia tra loro l'occhio destro e quello sinistro, la narice destra e quella sinistra e così via. Eppure le posizioni relative di tutti i tratti del viso rimangono identiche. Sono queste relazioni che definiscono un volto, mentre etichette come «sinistra» e «destra» dipendono dal punto di vista. Le cose che abbiamo chiamato «particelle» e «campi» hanno simmetrie più astratte, ma l'idea è la stessa.

Per il principio del rasoio di Occam, fisici e filosofi preferiscono le idee che spiegano gli stessi fenomeni con il minor numero possibile di presupposti. In questo caso possiamo costruire una teoria valida ipotizzando l'esistenza di relazioni specifiche senza ipotizzare anche quella degli oggetti. Quindi, per i proponenti del realismo strutturale ontico possiamo fare a meno delle cose e supporre che il mondo sia fatto di strutture, di reti di relazioni.

Nella vita quotidiana sperimentiamo molte situazioni in cui contano solo le relazioni e in cui sarebbe una distrazione descrivere gli oggetti che si trovano in quelle relazioni. In una rete della metropolitana, per esempio, è essenziale sapere come sono collegate le stazioni. A Londra, St. Paul's è sulla stessa linea di Holborn, mentre da Blackfriars bisogna cambiare almeno una linea, sebbene Blackfriars sia più vicina a Holborn di quanto lo sia St. Paul's. È la struttura dei collegamenti la cosa più importante. Il fatto che Blackfriars sia stata ristrutturata di recente non ha alcuna importanza per qualcuno che cerchi di orientarsi nella rete.

Altri esempi di strutture che hanno la priorità sulle loro realizzazioni materiali sono il Web, la rete neurale del cervello e il genoma. Continuano tutte a funzionare anche quando singoli computer, cellule, atomi e persone muoiono. Questi esempi sono analogie approssimate, ma sono vicine allo spirito dei ragionamenti tecnici che si applicano alla teoria quantistica dei campi.

Una linea di pensiero correlata sfrutta l'entanglement quantistico per sostenere la tesi che le strutture siano alla base della realtà. L'entanglement di due particelle quantistiche è un effetto olistico. Le proprietà intrinseche delle due particelle, come la carica elettrica, insieme a quelle estrinseche, come la posizione, non bastano a determinare lo stato del sistema costituito dalle due particelle. Il tutto è più della somma delle sue parti. La visione atomistica del mondo, in cui tutto è determinato dalle proprietà dei costituenti più elementari e dalle loro relazioni all'interno dello spazio-tempo, viene meno. Invece di considerare le particelle enti primari e l'entanglement secondario, forse dovremmo capovolgere il nostro modo di pensare.

Potreste trovare strano che siano possibili relazioni senza relati, cioè senza oggetti in queste relazioni. Suona un po' come un matrimonio senza coniugi. Non sareste i soli. Anche molti fisici e filosofi lo trovano bizzarro, ritenendo impossibile ottenere oggetti solidi solo sulla base delle relazioni. Alcuni proponenti del realismo strutturale ontico cercano un compromesso: non negano l'esistenza degli oggetti, affermano che le relazioni, o strutture, abbiano ontologicamente la precedenza. In altre parole, gli oggetti non hanno proprietà intrinseche, ma solo proprietà che derivano dalle loro relazioni con altri oggetti. Ma questa posizione pare debole. Sul fatto che gli oggetti abbiano relazioni sono tutti d'accordo; l'unica posizione nuova e interessante sarebbe che tutto emerga dalle relazioni. Tutto considerato, il realismo strutturale è un'idea stimolante ma richiede un'ulteriore elaborazione prima di capire se ci può salvare dai problemi di interpretazione.

Le concezioni di particelle e campi dei filosofi possono ispirare i fisici che lavorano alla grande unificazione

Fasci di proprietà

Una seconda possibilità per il significato della teoria quantistica dei campi comincia con una considerazione. Anche se le interpretazioni in termini di particelle e campi sono ritenute diverse tra loro, hanno in comune qualcosa di cruciale. In entrambe si assume che gli oggetti fondamentali del mondo materiale siano entità individuali durature a cui attribuire proprietà. Queste entità sono o particelle o, nel caso della teoria dei campi, punti dello spazio-tempo. Molti filosofi, tra i quali il sottoscritto, pensano che questa distinzione tra oggetti e proprietà possa essere il motivo profondo per cui gli approcci basati su particelle e campi hanno entrambi difficoltà. Riteniamo sia meglio considerare le proprietà come l'unica e fondamentale categoria.

Tradizionalmente si ritiene che le proprietà siano «universali»: in altre parole, appartengano a una categoria astratta e generale. Ci sono sempre oggetti particolari che le hanno; non possono esistere indipendentemente. (A dire il vero Platone le riteneva dotate di esistenza indipendente ma solo in un mondo superiore, non nel mondo che esiste nello spazio e nel tempo.) Per esempio, quando pensiamo al rosso di solito pensiamo a specifiche cose rosse, non a qualcosa che fluttua e che corrisponde alla «rossezza». Ma possiamo capovolgere questo modo di pensare: possiamo considerare le proprietà come dotate di esistenza, indipendentemente dagli oggetti che le hanno. Le proprietà possono essere quello che i filosofi chiamano «particolari»: entità concrete, individuali. Quello che chiamiamo «cosa» potrebbe essere solo un fascio di proprietà: colore, forma, consistenza e così via.

Dato che questa concezione delle proprietà come particolari anziché come universali differisce dalla visione tradizionale, i filosofi hanno introdotto un termine per descriverle, «tropi», che purtroppo ha anche altri significati, ma ormai è entrato nell'uso.

Costruire le cose come fasci di proprietà non è il modo in cui abitualmente concettualizziamo il mondo, ma diventa meno misterioso se cerchiamo di disimparare il modo in cui concepiamo di solito il mondo e torniamo ai primissimi anni della nostra vita. Da neonati, quando vediamo e sperimentiamo per la prima volta una palla, non percepiamo veramente una palla, se siamo rigoro-

si. Quello che percepiamo è una forma rotonda, una certa sfumatura di rosso, una certa consistenza elastica. Solo in seguito associamo questo fascio di percezioni a un oggetto coerente di un certo tipo: una palla. La volta successiva che vediamo una palla diciamo, in sostanza: «una palla», e dimentichiamo tutto l'apparato concettuale coinvolto in questa percezione apparentemente immediata.

Nell'ontologia dei tropi torniamo alle percezioni dirette dell'infanzia. Nel mondo le cose non sono altro che fasci di proprietà. Non cominciamo da una palla per poi attaccarle proprietà: abbiamo le proprietà e le chiamiamo «palla». Una palla non è altro che le sue proprietà.

Applicando questa idea alla teoria quantistica dei campi, quello che chiamiamo elettrone è in realtà un fascio di varie proprietà, o tropi: tre proprietà essenziali e fisse (massa, carica e spin) e proprietà variabili e non essenziali (posizione e velocità). Questa concezione dei tropi ci aiuta a dare un senso alla teoria. Per esempio, la teoria prevede che le particelle elementari possano cominciare e smettere di esistere rapidamente. Il comportamento del vuoto nella teoria quantistica dei campi è sbalorditivo: il valore medio del numero di particelle è zero, eppure il vuoto ribolle di attività. Avvengono continuamente tanti processi, che provocano la creazione e la distruzione di particelle di tutti i tipi.

In un'ontologia basata sulle particelle questa attività è paradossale. Se le particelle sono fondamentali, come fanno a materializzarsi? Da che cosa si materializzano? Nell'ontologia dei tropi la situazione è naturale. Il vuoto, anche se privo di particelle, contiene proprietà. Una particella è quello che si ottiene quando queste proprietà si radunano insieme in un certo modo.

Sarah Guido (*styling*)

Fisica e metafisica

Come è possibile che ci siano dibattiti così fondamentali su una teoria che empiricamente ha tanto successo, come la teoria quantistica dei campi? La risposta è immediata. Anche se la teoria ci dice che cosa possiamo misurare, parla per enigmi quando affronta la natura di quali siano le entità da cui emergono le nostre osservazioni. La teoria spiega le osservazioni in termini di quark, muoni, fotoni e campi quantistici, ma non ci dice che cosa sia un fotone o un campo quantistico. E non ne ha bisogno, perché le teorie fisiche possono essere valide empiricamente in buona misura anche senza risolvere questi problemi metafisici.

Per molti fisici questo è sufficiente. Adottano un atteggiamento strumentalista: negano a priori che le teorie scientifiche debbano rappresentare il mondo. Per loro le teorie sono soltanto strumenti per formulare previsioni sperimentali. Eppure molti scienziati hanno la forte intuizione che le loro teorie raffigurino almeno alcuni aspetti della natura come è prima delle misurazioni. Dopo tutto, perché mai darsi alla scienza, se non per capire il mondo?

Acquisire un quadro complessivo del mondo fisico richiede di mettere insieme fisica e filosofia. Le due discipline sono complementari. La metafisica fornisce vari modelli concorrenti per l'ontologia del mondo materiale, anche se al di là delle questioni di coerenza interna non può optare per una di esse. La fisica, dal canto suo, è priva di un trattamento coerente delle questioni fondamentali, come la definizione degli oggetti, il ruolo dell'individualità, lo status delle proprietà, la relazione tra cose e proprietà e il significato dello spazio e del tempo.

L'unione delle due è importante in momenti in cui i fisici devono esaminare i fondamenti della loro disciplina. Fu il pensiero metafisico a guidare Isaac Newton e Albert Einstein, e oggi influenza molti scienziati che cercano di unificare la teoria quantistica dei campi con la teoria della gravità einsteiniana. I filosofi hanno scritto biblioteche intere su meccanica quantistica e teoria della gravità, ma abbiamo cominciato da poco a esplorare la realtà contenuta nella teoria quantistica dei campi. Le alternative alle concezioni abituali in termini di particelle e campi che sviluppiamo possono ispirare i fisici nei loro sforzi per arrivare alla grande unificazione. ■

PER APPROFONDIRE

An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory. Teller P., Princeton University Press, 1995.

No Place for Particles in Relativistic Quantum Theories? Halvorson H. e Clifton R.K., in «Philosophy of Science», Vol. 69, n. 1, pp. 1-28, marzo 2002. Disponibile all'indirizzo: **arxiv.org/abs/quant-ph/0103041.**

Ontological Aspects of Quantum Field Theory. Kuhlmann M., Lyre H. e Wayne A., World Scientific, 2002.

Against Field Interpretations of Quantum Field Theory. Baker D.J., in «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. 60, n. 3, pp. 585-609, settembre 2009. **philsci-archive.pitt.edu/4132/1/AgainstFields.pdf.**

The Ultimate Constituents of the Material World: In Search of an Ontology for Fundamental Physics. Kuhlmann M., Ontos Verlag, 2010.

Quantum Field Theory. Kuhlmann M., in «Stanford Encyclopedia of Philosophy», 2012. **plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/quantum-field-theory.**

EVOLUZIONE

Le sorprendenti origini della complessità della vita

Gli scienziati cercano di capire come possano evolvere strutture elaborate negli organismi senza l'azione della selezione darwiniana

di Carl Zimmer

IN BREVE

La teoria tradizionale sostiene che le strutture complesse evolvono da quelle più semplici attraverso un graduale processo evolutivo, durante il quale la selezione darwiniana favorisce le forme intermedie.

Di recente alcuni scienziati hanno invece proposto che la complessità possa emergere secondo altre modalità, per esempio come effetto collaterale, anche senza il contributo della selezione naturale.

Le ricerche indicano che le mutazioni casuali senza effetti sull'organismo possono essere il carburante per l'emergere della complessità, in un processo detto evoluzione neutrale costruttiva.

I moscerini della frutta allevati in laboratorio sono più complessi di quelli selvatici perché il loro ambiente protetto permette la diffusione anche delle mutazioni non vantaggiose. Questa illustrazione mette in contrapposizione l'anatomia di un moscerino selvatico (*a sinistra*) con le tipiche mutazioni che emergono nei moscerini di laboratorio (*a destra*).

Cherie Sinnen

Carl Zimmer è editorialista del «New York Times» e autore di numerosi libri, tra cui *Evolution. Making Sense of Life*, scritto con Douglas J. Emlen.

Charles Darwin non aveva ancora compiuto trent'anni quando ebbe l'idea fondamentale dell'evoluzione, ma presentò al mondo il suo ragionamento solo dopo avere compiuto cinquant'anni. Passò quei vent'anni compilando metodicamente le prove della sua teoria, e pensando alle risposte a ogni possibile critica. E la critica che più di tutte cercò di anticipare era quella che puntava all'impossibilità di produrre strutture complesse con il graduale processo di evoluzione che aveva ipotizzato. Pensiamo all'occhio umano. È composto di molte parti – retina, cristallino, muscoli, corpo vitreo e altro ancora – che devono interagire per poter vedere. Danneggiare una parte, per esempio staccando la retina, significa causare la cecità, e in effetti l'occhio funziona solo se tutte le parti sono della giusta forma e dimensione per poter lavorare insieme. Se Darwin avesse ragione, la complessità dell'occhio si sarebbe evoluta da precursori più semplici. In *L'origine delle specie*, a proposito di quest'idea, Darwin scrisse: «Ammetto francamente che tutto ciò sembra del tutto assurdo».

Ma Darwin aveva comunque immaginato un percorso per l'evoluzione della complessità. A ogni generazione gli individui variano nelle loro caratteristiche. Alcune variazioni aumentano la sopravvivenza e permettono di avere più discendenti. Nel corso delle generazioni queste variazioni vantaggiose diventano più comuni, grazie alla selezione naturale. Le nuove variazioni che emergono e si diffondono possono gradualmente modificare l'anatomia, producendo strutture complesse.

L'occhio umano, ipotizzava Darwin, sarebbe potuto evolvere da semplici parti di tessuto fotosensibile del tipo oggi presente su animali come i platelminti. La selezione naturale potrebbe aver modificato queste aree di tessuto in una piccola cavità in grado di rilevare la direzione della luce. In seguito, qualche ulteriore caratteristica avrebbe modificato la cavità per migliorare la visione, migliorando anche l'adattamento dell'organismo al suo ambiente, e così questo precursore intermedio dell'occhio sarebbe stato trasmesso alle generazioni successive. Passo dopo passo, la selezione naturale avrebbe potuto guidare questa trasformazione verso una maggiore complessità, perché ogni stadio intermedio sarebbe stato vantaggioso rispetto al precedente.

Le ipotesi di Darwin sull'origine della complessità hanno trovato riscontro nella biologia moderna. Oggi i biologi possono analizzare l'occhio e altri organi fino ai dettagli molecolari, dove trovano proteine infinitamente complesse che si uniscono a formare strutture incredibilmente simili a portali, nastri trasportatori e motori. Sistemi così intricati di proteine possono evolvere da sistemi più semplici, con la selezione naturale che avvantaggia tutti i passaggi intermedi lungo il cammino.

Di recente alcuni scienziati e filosofi hanno però suggerito che la complessità possa emergere seguendo altre strade. Alcuni pensano che la vita abbia un'innata tendenza a diventare più complessa nel corso del tempo. Altri sostengono che la complessità sia un effetto collaterale delle mutazioni casuali, anche senza l'aiuto costante della selezione naturale. La complessità, affermano, non è meramente il risultato di milioni di anni di fini aggiustamenti per mezzo della selezione naturale, il processo che Richard Dawkins ha reso famoso come «l'orologiaio cieco». Almeno fino a un certo punto, semplicemente accade.

Una somma di parti diverse

Biologi e filosofi hanno ragionato sull'evoluzione della complessità per decenni, ma secondo Daniel W. McShea, paleobiologo della Duke University, sono stati rallentati dalle definizioni vaghe. «Non è solo il fatto che non si riesca a quantificarla. Non sanno che cosa intendere con quel termine», sostiene McShea.

McShea ha studiato la questione per anni, lavorando a stretto contatto con Robert N. Brandon, della sua stessa università. McShea e Brandon suggeriscono di guardare non solo al sempli-

ce numero delle parti che compongono gli organismi viventi, ma al tipo di parti. I nostri corpi sono fatti di dieci milioni di milioni di cellule: se fossero tutte dello stesso tipo saremmo ammassi indistinti di protoplasma. Invece abbiamo cellule del muscolo, globuli rossi, cellule della pelle e così via. Addirittura uno stesso organo può avere molti tipi diversi di cellule. La retina, per esempio, ha circa 60 diversi tipi di neuroni, ognuno con un compito ben definito. In base a questo possiamo dire che noi esseri umani siamo in effetti più complessi di un animale come una spugna, che ha forse solo sei tipi di cellule.

Un vantaggio di questa definizione è che si può misurare in tanti modi diversi. Il nostro scheletro ha diversi tipi di ossa, ognuno con la sua forma. Anche la spina dorsale è fatta di diverse parti, dalle vertebre del collo che tengono su la testa a quelle che sostengono la cassa toracica.

Nel loro libro del 2010, *Biology's first law*, McShea e Brandon hanno evidenziato un percorso possibile per l'emergere di questo tipo di complessità. I due affermano che un gruppo di parti che nascono più o meno uguali dovrebbe differenziarsi nel tempo. Ogni volta che gli organismi si riproducono, uno o più geni potrebbero mutare. A volte queste mutazioni danno origine a parti di tipo diverso. Una volta che l'organismo ha diverse parti, queste unità hanno l'opportunità di differenziarsi. Dopo la copia accidentale di un gene, il duplicato potrebbe acquisire mutazioni che non sono presenti nell'originale. Quindi, se si parte da un insieme di parti identiche, secondo McShea e Brandon queste tenderanno a diventare sempre più diverse tra loro. In altre parole, aumenterà la complessità dell'organismo.

L'aumento della complessità potrebbe aiutare un organismo a sopravvivere o ad aumentare il numero di discendenti. In questo caso la selezione naturale lo favorirà e si diffonderà nella popolazione. Nei mammiferi, l'olfatto funziona grazie al legame tra molecole odorose e recettori sulle terminazioni nervose nel naso. I geni di questi recettori si sono duplicati ripetutamente in milioni di anni. Le nuove copie mutano, permettendo ai mammiferi di annusare uno spettro più ampio di aromi. Gli animali che usano l'olfatto in modo intensivo, come topi o cani, hanno oltre 1000 geni per i recettori. Ma la complessità può essere anche un fardello. Le mutazioni possono cambiare la forma di una vertebra nel collo, per esempio, rendendo difficile girare la testa. La selezione naturale eviterà che queste mutazioni si diffondano nella popolazione: gli organismi nati con questi tratti tenderanno a morire prima di riprodursi, portandosi dietro i caratteri deleteri. In questi casi la selezione naturale lavora contro la complessità.

Diversamente dalla teoria evolutiva standard, McShea e Brandon vedono la complessità aumentare anche in assenza di selezione naturale. Questa è secondo loro una legge fondamentale della biologia, forse l'unica. L'hanno battezzata «legge evolutiva in assenza di forze» (*zero-force evolutionary law*).

Il test della drosofila

Recentemente McShea e Leonore Fleming, studentessa di dottorato alla Duke University, hanno messo alla prova la legge evolutiva in assenza di forze. Come oggetto di studio hanno usato le drosofile, moscerini che da più di un secolo sono allevati per gli esperimenti. Nei laboratori questi moscerini vivono una vita da viziati, sono nutriti con regolarità in un clima temperato e stabile, mentre i loro parenti in natura devono confrontarsi con fame, predatori, freddo e caldo. Tra le drosofile selvatiche la selezione naturale è molto forte, ed elimina mutazioni che rendono incapaci gli esemplari di rispondere alle numerose sfide ambientali. Nell'ambiente protetto dei laboratori, invece, la selezione naturale è debolissima.

La legge evolutiva in assenza di forze fa una previsione chiara: nel corso dell'ultimo secolo i moscerini di laboratorio sono stati soggetti a una minore eliminazione delle mutazioni svantaggiose, e quindi dovrebbero essere diventati più complessi di quelli selvatici.

Fleming e McShea hanno esaminato la letteratura scientifica per 916 ceppi di moscerini di laboratorio e hanno effettuato molte misurazioni di complessità per ogni popolazione. Di recente i due ricercatori hanno pubblicato su «Evolution and Development» un articolo in cui illustravano un effettivo aumento della complessità per gli insetti in laboratorio. Alcuni hanno zampe irregolari; altri hanno acquisito complicate colorazioni delle ali; i segmenti delle antenne hanno forme diverse. Liberati dalla selezione naturale, i moscerini hanno goduto di maggiore complessità, come previsto dalla legge.

Alcuni moscerini di laboratorio hanno zampe irregolari, altri complicate colorazioni delle ali. I segmenti delle antenne hanno forme diverse. Liberati dalla selezione naturale, questi insetti hanno goduto della complessità

Diversi biologi pensano che la legge evolutiva in assenza di forze sia corretta, tuttavia un importante paleontologo dello Smithsonian Museum of Natural History, Douglas Erwin, crede che presenti alcune gravi falle. «Una delle sue ipotesi fondamentali non regge», sostiene. Secondo la legge, la complessità può aumentare in assenza di selezione. Ma questo sarebbe vero solo se gli organismi potessero davvero vivere al di fuori dell'influenza della selezione. Secondo Erwin nel mondo reale, anche quando sono coccolati dal più affettuoso dei ricercatori, la selezione comunque esercita una pressione. Affinché un animale come un moscerino si sviluppi nel modo giusto, centinaia di geni devono interagire in un'elaborata coreografia, moltiplicando una cellula, dando origine a diversi organi e altro ancora. Le mutazioni possono far saltare questa coreografia, impedendo ai moscerini di diventare adulti vitali.

Un organismo può esistere senza selezione esterna, ovvero senza che l'ambiente determini chi vince e chi perde nella competizione evolutiva, ma sarà comunque soggetto alla selezione interna, che avviene dentro gli organismi. Secondo Erwin, nel loro nuovo studio McShea e Fleming non hanno presentato prove per la legge evolutiva in assenza di forze, «perché considerano solo le varianti adulte», senza guardare ai mutanti che muoiono di malattie durante lo sviluppo nonostante le cure ricevute in laboratorio dagli scienziati.

Un'altra obiezione sollevata da Erwin e da altri scettici è che la versione della complessità elaborata da McShea e Brandon non coincide con la definizione fornita dalla maggior parte delle persone. Dopo tutto, un occhio non ha solo molte parti diverse. Queste parti cooperano tra di loro, e ognuna di loro svolge un compito particolare. Ma McShea e Brandon sostengono che la complessità che prendono in esame può portare a complessità di altro tipo. «Il tipo di complessità che osserviamo nelle popolazioni di

Drosophila è il fondamento per le cose realmente interessanti che potrebbero servire alla selezione naturale» per costruire le strutture complesse che lavorano per aiutare la sopravvivenza, afferma McShea.

Complessità molecolare

Da paleobiologo, McShea è solito pensare alla complessità che osserva nei fossili; per esempio le ossa che si incastrano bene tra loro. Ma in anni recenti diversi biologi molecolari hanno iniziato a pensare all'emergere della complessità.

Negli anni novanta un gruppo di biologi canadesi ha cominciato a riflettere sul fatto che spesso le mutazioni non hanno alcun effetto sull'organismo. Sono, come si dice in gergo, mutazioni neutrali. Questi ricercatori, tra i quali Michael Gray della Dalhousie University di Halifax, hanno ipotizzato che le mutazioni possano generare strutture complesse senza passare dalle varie fasi intermedie in cui sono selezionate per i vantaggi nell'adattamento dell'organismo nell'ambiente. Il processo è stato chiamato «evoluzione neutrale costruttiva».

Gray è stato incoraggiato da uno studio recente che ha prodotto importanti prove a sostegno dell'evoluzione neutrale costruttiva. Uno dei leader di questa ricerca è Joe Thornton, della Università dell'Oregon, che ha trovato quello che sembrerebbe un esempio in cellule dei funghi. Nei funghi, per esempio i classici *champignon*, le cellule devono spostare atomi da una parte all'altra per continuare a vivere. Uno dei mezzi per farlo sono le pompe molecolari dette «complessi delle ATPasi vacuolari». Un anello mobile di proteine traghetta gli atomi da un lato all'altro di una membrana nel fungo. Questo anello è chiaramente una struttura complessa. Contiene sei molecole proteiche. Quattro sono fatte da proteine note come Vma3, la quinta è la Vma11 e la sesta è Vma16. Tutti e tre i tipi di proteine sono essenziali per la rotazione dell'anello.

Per capire come si è evoluta questa struttura complessa, Thornton e colleghi hanno confrontato le proteine dei funghi con le versioni imparentate in altri organismi, come gli animali. (I funghi e gli animali condividono un antenato comune, vissuto circa un miliardo di anni fa).

Anche negli animali i complessi delle ATPasi vacuolari hanno anelli rotanti di sei proteine, ma diversi in un particolare cruciale: invece di avere tre tipi di proteine, ne hanno solo due. Ogni anello negli animali ha cinque copie di Vma3 e una di Vma16, e non hanno alcuna Vma11. Secondo la definizione di McShea e Brandon, i funghi sono più complessi degli animali, almeno per quanto riguarda i complessi delle ATPasi vacuolari.

Grazie a un'accurata analisi dei geni che codificano le proteine dell'anello, Vma11, la proteina peculiare dei funghi, si è rivelata stretta parente della Vma3 sia negli animali sia nei funghi. I geni per la Vma3 e la Vma11 devono quindi condividere un'ascendenza comune. Thornton e colleghi hanno concluso che molto presto nell'evoluzione dei funghi un gene ancestrale per le proteine dell'anello si è duplicato accidentalmente. Quelle due copie si sono poi evolute in Vma3 e Vma11.

Confrontando le differenze nei geni che codificano per Vma3 e Vma11, Thornton ha ricostruito il gene ancestrale da cui entrambi si sono evoluti, e ha poi usato la sequenza di DNA per ottenere la proteina corrispondente, «resuscitando» una proteina vecchia di 800 milioni di anni. La proteina è stata chiamata Anc.3-11, abbreviazione per Ancestor of Vma3 e Vma11. Normalmente, spegnere i geni che codificano per Vma3 e Vma11 è fatale, perché il lievito non riesce più a fare gli anelli. Ma la ricerca di Thornton ha mostrato che il lievito può sopravvivere con Anc.3-11. Questa si combina con Vma16 per fare anelli pienamente funzionali.

Esperimenti del genere permettono di formulare un'ipotesi su come gli anelli fungini siano diventati più complessi. I funghi hanno iniziato con anelli fatti da due sole proteine, le due che si trovano oggi negli animali. Le proteine erano versatili, capaci di legarsi tra loro o alle loro compagne, unendosi a proteine alla loro destra o alla loro sinistra. Più tardi questo gene per Anc.3-11 si è duplicato in Vma3 e Vma11. Queste nuove proteine continuarono a fare la stessa cosa: anelli per le pompe. Ma nel corso di milioni di generazioni di funghi hanno cominciato a mutare. Alcune di queste mutazioni ne hanno limitato la versatilità. Vma11, per esempio, ha perso la capacità di legarsi a Vma3 sul lato in senso orario. Vma3 ha perso invece la possibilità di legarsi a Vma16 sul lato in senso orario. Queste mutazioni non hanno ucciso il lievito, perché le proteine possono comunque formare l'anello. In altre parole, sono mutazioni neutrali. Ma ora l'anello deve essere più complesso, perché si può formare solo con tutte e tre le proteine in una precisa disposizione.

Negli anni novanta alcuni biologi hanno ipotizzato che le mutazioni neutrali potrebbero generare strutture complesse senza passare dalle fasi intermedie in cui sono selezionate per i vantaggi adattativi forniti all'organismo

Thornton e i suoi colleghi hanno scoperto esattamente il tipo di episodio evolutivo previsto dalla legge evolutiva in assenza di forze. Nel corso del tempo la vita produce più parti, ovvero più proteine dell'anello, che iniziano a divergere. I funghi finiscono per avere una struttura più complessa dei loro antenati. Ma questo non è avvenuto nel modo immaginato da Darwin, con la selezione naturale che favorisce una serie di forme intermedie. L'anello dei funghi ha invece trovato la propria via degenerata verso la complessità.

Riparare gli errori

Gray ha trovato un altro esempio di evoluzione neutrale costruttiva nel modo in cui molte specie correggono i propri geni. Quando le cellule devono fare una determinata proteina, trascrivono il DNA in RNA, la controparte a elica singola del DNA, e poi usano enzimi speciali per sostituire certi mattoni dell'RNA (i nucleotidi) con altri. Questa modifica dell'RNA (detta *editing*) è fondamentale per molte specie, tra cui la nostra, perché le molecole di RNA non modificate producono proteine che non funzionano. Ma c'è anche qualcosa di molto strano. Perché non abbiamo semplicemente geni con la sequenza originale corretta, rendendo inutile l'editing dell'RNA?

Lo scenario suggerito da Gray per l'evoluzione dell'editing dell'RNA è il seguente: un enzima muta, in modo da potersi legare all'RNA e cambiare certi nucleotidi. Questo enzima non ha effetti né negativi né positivi sulla cellula, almeno non all'inizio. Non facendo danni, questo enzima è rimasto. Successivamente una mutazione negativa è avvenuta in un gene, ma fortunatamente la cellula ha già l'enzima che si lega all'RNA, e può compensare la mutazione correggendo l'RNA. L'enzima protegge la cellula dai danni del-

L'occhio umano è un organo la cui complessità si è evoluta nel modo classico, gradualmente, con la selezione naturale a favorire le forme intermedie lungo il percorso. Ma gli studi sui moscerini e altri organismi indicano che la complessità potrebbe emergere anche in altri modi.

la mutazione, permettendo alla mutazione di essere trasmessa alle generazioni successive e di diffondersi nella popolazione. Gray sostiene quindi che l'evoluzione di questo enzima di editing dell'RNA e della mutazione che ha preservato non è stata guidata dalla selezione naturale, invece questo strato aggiuntivo di complessità si è evoluto per conto suo, «neutralmente». Una volta diventato comune, non c'è stato modo di eliminarlo.

David Speijer, biochimico dell'Università di Amsterdam, pensa che Gray e colleghi hanno reso un buon servizio alla biologia con l'idea di evoluzione neutrale costruttiva, in particolare sfidando l'idea che tutta la complessità deve essere adattativa. Ma Speijer è preoccupato dal fatto che in alcuni casi stiano estremizzando le loro argomentazioni. Da un lato pensa che le pompe dei funghi siano un buon esempio di evoluzione neutrale costruttiva: «Chiunque abbia un po' di buon senso sarebbe d'accordo». In altri casi, come l'editing dell'RNA, secondo Speijer non si dovrebbe eliminare la possibilità che ci sia di mezzo il lavoro della selezione naturale, anche se la complessità sembra inutile.

Gray, McShea e Brandon riconoscono l'importanza del ruolo della selezione naturale nell'emergere della complessità che ci circonda, dalla biochimica che produce una piuma d'uccello alle fabbriche fotosintetiche nelle foglie degli alberi. Tuttavia sperano che le proprie ricerche costringano altri biologi a pensare oltre la selezione naturale e a vedere la possibilità che la mutazione causale possa essere il carburante per l'evoluzione indipendente della complessità. «Non neghiamo l'adattamento come parte di tutto questo», sostiene Gray. «Semplicemente, non pensiamo che possa spiegare tutto». ■

Suren Manvelyan

Questo articolo è stato prodotto in collaborazione con «Quanta Magazine», una divisione editorialmente indipendente della SimonsFoundation.org

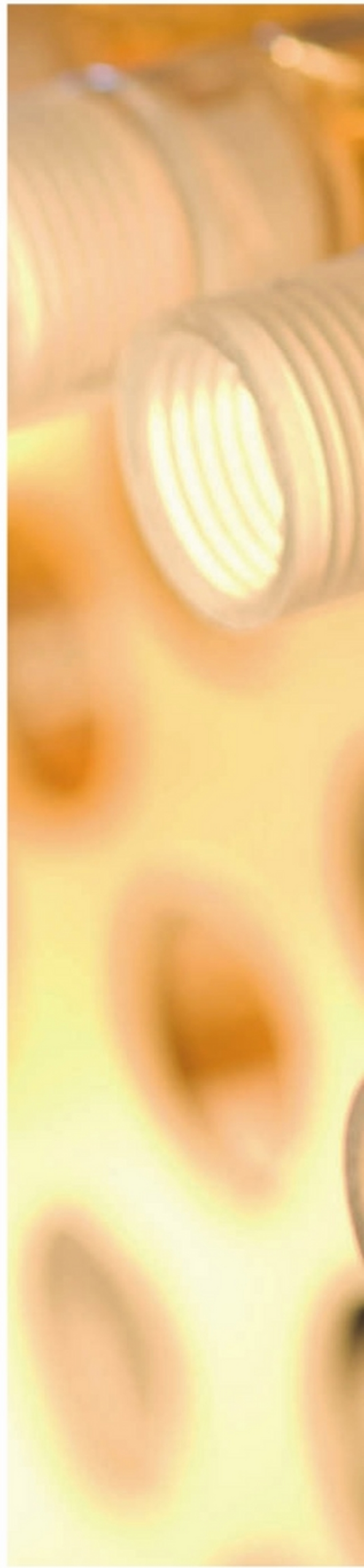
PER APPROFONDIRE

Biology's First Law: The Tendency for Diversity and Complexity to Increase in Evolutionary Systems. McShea D.W. e Brandon R.N., University of Chicago Press, 2010.

How a Neutral Evolutionary Ratchet Can Build Cellular Complexity. Lukeš J. e altri, in «IUBMB Life», Vol. 63, n. 7, pp. 528-537, luglio 2011.

Questo articolo e maggiori informazioni sulla Simons Foundation sono disponibili sul sito web: **https://www.simonsfoundation.org/quanta/20130716-the-surprising-origins-of-lifes-complexity/.**

Il caso Stamina



Fallace dal punto di vista scientifico e in violazione delle norme del settore, la cura di Stamina rischia di inaugurare un pericoloso mercato senza freni

di Silvia Bencivelli

Dopo una decina d'anni passati a svolgere l'onesto mestiere di *cow-boy*, Clark Stanley si era ritirato tra gli indiani Moki dell'Arizona. Là, diceva, aveva imparato l'autentica ricetta dell'olio di serpente. Così girava gli Stati Uniti a bordo di un carro raccogliendo fama e denaro con i suoi *medicine show*: musica, magie ed *elisir* miracolosi contro reumatismi, calvizie, mal di denti.

IN BREVE

Stamina è una fondazione che propone terapie con cellule staminali per condizioni cliniche diverse. Queste terapie non sono mai state pubblicate.

La Fondazione Stamina ha provato a brevettare il suo metodo, ma le domande sono state respinte. Secondo «Nature», le domande di brevetto contengono una frode scientifica.

Il Parlamento italiano ha votato a favore di una sperimentazione per sanare il conflitto tra organi di controllo sui farmaci e sentenze che autorizzano le terapie su alcuni pazienti. Il Parlamento ha poi rimandato il tutto al Ministero della Salute, che successivamente ha ricevuto il parere negativo di una commissione scientifica riguardo alla sperimentazione.

In questo iter l'Italia ha rischiato di sottrarre le terapie cellulari dal controllo degli organi regolatori e di uscire dalle regole europee, aprendosi a un pericoloso mercato di terapie non validate pagate dalla sanità pubblica.

Silvia Bencivelli è medico e giornalista scientifica *freelance*. L'autrice ringrazia Paolo Bianco, professore di anatomia e istologia patologica della «Sapienza» Università di Roma.

Quella di Stanley non era una novità. Ma il suo olio di serpente fu il primo che finì per essere esaminato e messo al bando da un'autorità scientifica pubblica. A emettere il verdetto fu il Bureau of Chemistry del Rhode Island, il 20 maggio 1917: olio minerale, grassi animali (di manzo), peperoncino e tracce di trementina e canfora. Niente serpente: c'era da aspettarselo.

Si trattò di una delle prime applicazioni del Pure Food and Drug Act, legge del 1906 che negli anni trenta segnò la nascita della Food and Drug Administration. Era la fine dei medicine show, ed era la nascita dell'espressione «olio di serpente» per definire un intruglio travestito da cura per tutti i mali. Da Stanley in poi è stato chiaro che gli enti regolatori pubblici, le autorità scientifiche di controllo dei farmaci e leggi chiare a tutela della salute sono necessarie per impedire il Far West in medicina. O meglio: da Stanley fino al cosiddetto caso Stamina, che è stato a un passo da far saltare alcune norme fondamentali sul controllo delle terapie.

Al momento in cui scriviamo il caso è ancora aperto. È possibile però ripercorrere quello che è successo fino a oggi per analizzare alcuni suoi aspetti scientifici ma anche economici che lo rendono paradigmatico e preoccupante.

Stamina si è infatti proposto come la versione nostrana di un classico commercio di speranze per una procedura medica che sfugge ai normali crismi del dibattito scientifico. Siamo nel XXI secolo, e queste speranze non sono più a base di estratti di animali esotici ma di cellule staminali. Ci sono centinaia di realtà come Stamina in tutto il mondo. La peculiarità di ciò che sta succedendo nel nostro paese è che qui il *business* delle staminali, da privato, è presto diventato pubblico. L'interlocutore commerciale di Stamina è oggi il Sistema sanitario nazionale, non direttamente il paziente, per cui la somministrazione delle sue staminali mesenchimali (*si veda il box a p. 62*) è avvenuta (e ancora avviene) all'interno di strutture pubbliche a spese della collettività. È successo mentre si invocava un distorto diritto di scelta rispetto alle cure, nel pieno di un'attenzione mediatica con pochi precedenti messa in piedi dai *medicine show* moderni.

Siamo ben oltre il caso di Bella: il commercio delle staminali è un fenomeno planetario (*si veda il box a p. 60*) che coinvolge scienza, economia e politica. Che muove enormi volumi d'affari potenziali e reali e tenta di erodere la vigilanza regolatoria sul mercato delle terapie avanzate, e, in prospettiva, dei farmaci in generale. L'apertura a Stamina ha rischiato (e forse rischia ancora) di rendere l'Italia terra di conquista per qualsiasi società, italiana o estera, ansiosa di vendere liberamente presunti rimedi a base di staminali e in particolare di venderle alla nostra non proprio facoltosa sanità pubblica. Come ha scritto «Nature», il caso Stamina ha rischiato di portare l'Italia fuori dalle regole dell'Unione Europea e della Food and Drug Administration e di trasformarla in un paese pericolosamente permissivo, sul modello di Cina e Messico.

Norme violate

Ma che cos'è Stamina, in particolare, e che cosa propone? Si tratta di una fondazione privata, fondata e diretta da Davide Vannoni, che da qualche anno a questa parte offre terapie a base di cellule staminali mesenchimali per la cura di una lunga serie di

malattie: dalla psoriasi ai traumi spinali, dall'artrite reumatoide alle malattie genetiche del sistema nervoso centrale. Queste terapie non sono mai passate attraverso una pubblicazione scientifica, come è prassi. Al contrario, l'isolamento e la coltura *in vitro* delle cellule che dovrebbero esserne alla base avvengono ormai in migliaia di laboratori di tutto il mondo da circa quarant'anni, e sono quindi sostenute da una ricca letteratura scientifica.

Le terapie proposte da Stamina sono somministrate da quattro anni in strutture pubbliche, con giustificazioni e accordi vari tra fondazione e ospedali. Questo è avvenuto in violazione delle norme comunitarie che regolano sviluppo, produzione, uso e commercializzazione di medicinali per terapie cellulari avanzate. Quindi nel 2012 è intervenuta l'autorità regolatoria, l'Agenzia italiana del farmaco (AIFA), imponendo l'interruzione delle procedure.

Fin qui, facile. Poi sono arrivati i tribunali, ed è arrivata la televisione che intende raccontare la verità.

RG Images/Stock4B/Corbis (*pagine precedenti*)
Guido Montani/Ansa (*manifestazione*)

Pro Stamina. Manifestazione di associazioni di famiglie di malati al Senato il 15 maggio scorso per chiedere la rapida approvazione del decreto Balduzzi su staminali e cure compassionevoli.

eldon photographers/Demotix/Corbis

Per mesi, è entrata nelle case degli italiani mostrando bambini malati e genitori in lacrime sostenere l'efficacia del metodo terapeutico Stamina. Le lacrime hanno preso il posto della ricerca scientifica, l'emozione quello della legge. Quando le famiglie di alcuni malati si sono rivolte ai tribunali del lavoro (e tuttora sul sito della Stamina Foundation si trovano le istruzioni e l'assistenza per farlo), e soprattutto quando alcuni giudici hanno ordinato di riprendere le terapie in conflitto con quanto disposto dall'AIFA, è dovuto intervenire il Ministero della Salute.

Lo ha fatto a marzo di quest'anno con l'idea di emettere un provvedimento urgente capace di placare l'agitazione dell'opinione pubblica per poi definire in futuro le regole. A ben vedere, le regole esisterebbero già: c'è un regolamento europeo che definisce natura e produzione, misure di sicurezze incluse, dei medicinali per terapie avanzate, ed è a questo che aveva fatto riferimento l'AIFA. Ci sono anche leggi italiane ed europee che definiscono

CRONOLOGIA

Le tappe del caso anno per anno

2007

- Davide Vannoni (*nella foto*), amministratore di Cognition, società di comunicazione e indagini di mercato, va in Ucraina per curare un'emiparesi con infusioni di cellule staminali mesenchimali.
- Convince Elena Schegel'skaya e Vyacheslav Klymenko a seguirlo in Italia. I tre costituiscono la Re-Gene Srl. Viene allestito un laboratorio nella sede di Cognition. Cominciano i trattamenti a base di staminali.

2008

- Muore il paziente Claudio Font: aveva una diagnosi di Parkinson da solo tre anni. Aveva versato a Vannoni più di 40.000 euro.

2009

- Il paziente Carmine Vona ha una crisi epilettica dopo l'infusione di staminali. Aveva versato più di 20.000 euro.
- Nasce Stamina Foundation Onlus.

2010

- Il procuratore Guariniello avvia un'inchiesta: i rinviati a giudizio per «somministrazione di farmaci imperfetti e pericolosi per la salute pubblica, truffa e associazione a delinquere» saranno 12, tra cui Vannoni. Viene bloccato un finanziamento a Stamina da parte della Regione Piemonte.
- Vannoni si trasferisce a San Marino. Schegel'skaya e Klymenko tornano in Ucraina.
- Stamina Foundation stipula una collaborazione con il pediatra Marino Andolina e comincia a somministrare le sue cure all'Ospedale «Burlo Garofolo» di Trieste.
- Vengono presentate le domande di brevetto per il metodo Stamina.

2011

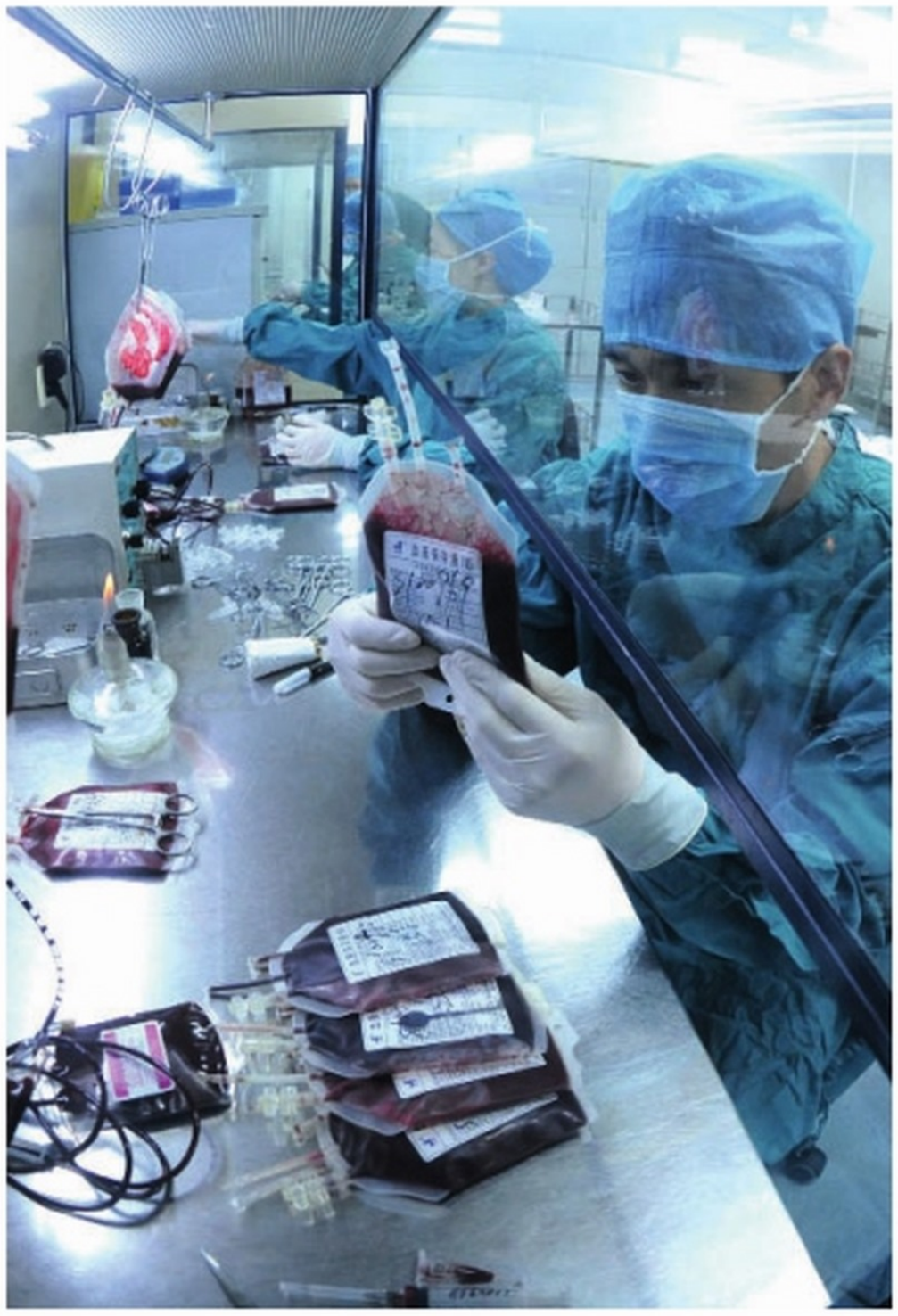
- Vannoni e Andolina si spostano all'Ospedale di Brescia, dove il metodo viene praticato come cura compassionevole in convenzione con la Regione Lombardia.

2012

- Un'ispezione dei NAS ordinata da Guariniello definisce il laboratorio che esegue le lavorazioni sulle cellule usate da Stamina «assolutamente inadeguato». L'AIFA blocca i trattamenti in corso. Alcuni pazienti riprendono la terapia in seguito alle decisioni dei giudici del lavoro.

2012-2013

- Il caso finisce in televisione, più volte, nel programma televisivo «Le Iene». Inizia il caso mediatico, e quello politico.



Il mercato delle staminali

In un articolo del 2011 su «Frontiers of Medicine», Douglas Sipp, direttore dell'unità di politiche della scienza e studi etici del giapponese RIKEN Center for Developmental Biology di Kobe, ha censito e descritto le realtà private che vendevano terapie a base di presunte cellule staminali per il trattamento di malattie e condizioni varie, dalla sclerosi laterale amiotrofica alla sindrome di Down, dall'AIDS alla calvizie. Secondo la ricerca di Sipp, due anni fa si potevano individuare almeno 300 organizzazioni che si facevano pubblicità in lingua inglese, mentre si potevano stimare centinaia di cliniche russe e, secondo dati raccolti nel 2009, tra 100 e 150 organizzazioni cinesi.

Alcune società avevano sede in Stati Uniti, Germania e Giappone, o in paesi emergenti dal punto di vista della ricerca biomedica, quali Cina e India. Ma per lo più si trattava di organizzazioni con sedi in Stati «non generalmente considerati promotori di innovazione medica», come Ecuador, Panama, Repubblica Dominicana, Filippine, Seychelles, Kazakhstan ed Emirati Arabi Uniti.

Tutte, riferisce Sipp, sfruttano una strategia di marketing del tipo seguente: da una parte spendono sapientemente diversi «gettoni di credibilità scientifica», almeno in apparenza, destinati direttamente al cliente, ovvero al paziente, frammenti di pubblicazioni scientifiche, domande di brevetto, registrazioni di trial clinici; dall'altra, vendendo in realtà terapie prive di razionale scientifico, utilizzano spesso anche formule complottiste per descrivere la medicina ufficiale, le industrie farmaceutiche, gli enti regolatori. Alcune organizzazioni inseriscono le terapie con staminali in un quadro tendente alla *new age* di medicina olistica in cui si usano cellule naturali per rigenerare il corpo. La maggior parte sostiene di curare malattie rare, orfane di rimedi efficaci, che quasi sempre conducono a morte in pochi anni, come nel caso delle malattie neurodegenerative.

le circostanze in cui queste terapie avanzate possano essere praticate in casi eccezionali (come il Decreto Ministeriale dell'8 maggio 2003, tuttora vigente).

C'è però anche un decreto ministeriale del 5 dicembre 2006 (il decreto Turco-Fazio) dal titolo: *Utilizzazione di medicinali per terapia genica e per terapia cellulare somatica al di fuori di sperimentazioni cliniche e norme transitorie per la produzione di detti medicinali*. Emesso come norma temporanea in attesa di un regolamento comunitario che arriverà l'anno successivo, teoricamente dovrebbe essere decaduto. È a questo che si sono richiamati i giudici del lavoro per ordinare la prosecuzione delle terapie su singoli pazienti, e più in generale i sostenitori del metodo per diffondere l'idea che esista una speciale categoria di cure mediche a cui ricorrere nei casi molto gravi. Cioè le cure compassionevoli.

Ma il Far West italiano è pronto per l'assalto alla diligenza: il provvedimento del Ministero viene stravolto al Senato. Il Parlamento sembra non accorgersene: è impegnato in altro. E si arriva al voto, ottenuto all'unanimità, di un decreto che identifica le cellule staminali mesenchimali non più come oggetto di terapia cellulare avanzata ma come trapianto. Ciò significa che la preparazione delle cellule staminali (non solo quelle di Stamina, ma quelle di chiunque voglia venire in Italia a proporre terapie) ha rischiato di essere sottratta alle regole europee e nazionali di cui sopra. E anche al suo organismo regolatorio specifico, cioè l'AIFA.

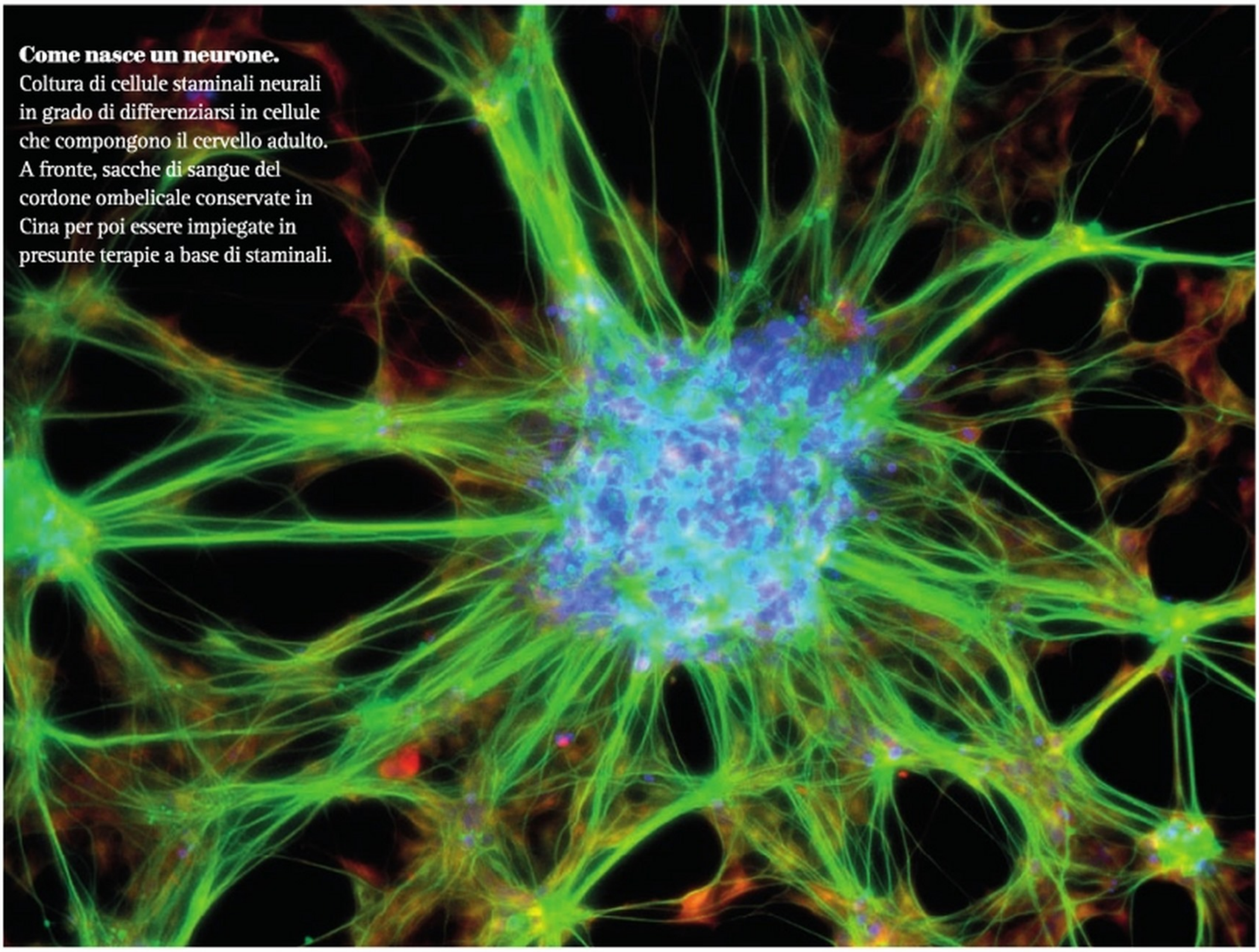
La differenza è importante: prima di essere messo in commercio, un farmaco deve passare attraverso una sperimentazione lunga e complessa, che comincia con una fase I, su un piccolo numero di pazienti, per dimostrare intanto che il farmaco è innocuo. Poi ci sono altre due fasi (la II e la III), lunghe e costose, in cui si deve dimostrare che è anche efficace, infine lo si mette in vendita e si continua a vigilare. I trapianti sono diversi: sono procedure. Devono essere standardizzate, tuttavia non rispondono a protocolli così complessi. Ma c'è di peggio: abolendone la natura di medicinale, si stava decidendo che le terapie con staminali diventavano procedure funzionali. Cioè procedure che avrebbero potuto essere somministrate da qualunque struttura semplicemente in convenzione con un ospedale pubblico.

Nel passaggio alla Commissione affari sociali della Camera il Decreto è stato modificato. È stato soprattutto per merito degli scienziati italiani e di quelli di mezzo mondo, compresi alcuni premi Nobel, che a quel punto hanno cominciato a farsi sentire. La loro mobilitazione e un'azione capillare e mirata rivolta anche ai politici hanno permesso di evitare il peggio e hanno cominciato a mostrare le numerose falle scientifiche del metodo Stamina.

Scienza fallace e senza brevetti

Allo stato attuale delle conoscenze, le cellule staminali mesenchimali non si sono mai dimostrate utili per la cura delle malattie per le quali Stamina sostiene di impiegarle. Non si è mai dimostrato che si trasformino in neuroni, come sostengono Vannoni e collaboratori, e che in questo modo rigenerino il cervello malato. Si sa piuttosto che le cellule staminali mesenchimali sono

Liu Haifeng/Xinhua Press/Corbis



Come nasce un neurone. Coltura di cellule staminali neurali in grado di differenziarsi in cellule che compongono il cervello adulto. A fronte, sacche di sangue del cordone ombelicale conservate in Cina per poi essere impiegate in presunte terapie a base di staminali.

Riccardo Cassiani-Ingoni/SPL/Contrasto

staminali per lo scheletro: generano osso, grasso, cartilagine, fibroblasti, stroma di supporto per l'emopoiesi. Comunque, non si possono trapiantare cellule staminali iniettandole semplicemente in vena o con un'iniezione intratecale, cioè un'iniezione direttamente nel liquor spinale all'interno della colonna vertebrale, come prevede (per quanto se ne sa) il metodo Stamina, perché in questo modo le si porta rapidamente a morte.

A dirla tutta, non c'è nemmeno un metodo Stamina definito secondo gli ordinari criteri scientifici, proprio perché non c'è una pubblicazione che lo descriva nel dettaglio. Ci sono semmai due domande di brevetto depositate a dicembre 2010 e pubblicate nel giugno 2012 dall'ufficio brevetti statunitense (lo United States Patent and Trademark Office, USPTO), entrambe respinte. E c'è il protocollo consegnato dopo un lungo braccio di ferro da Vannoni al Ministero in agosto, che al momento in cui scriviamo non è stato reso pubblico.

Le due domande di brevetto sono state rintracciate e studiate da «Nature», secondo cui, in un articolo a firma di Alison Abbott, conterrebbero almeno un plagio e una frode, oltre a peccare, elemento sottolineato dall'USPTO, di «indefinitezza del contenuto che costituirebbe l'invenzione e mancanza di altezza inventiva». Nello specifico, si tratta in un caso di un brevetto per un processo di estrazione di cellule stromali mesenchimali, già conosciuto e utilizzato dalla comunità scientifica, e nell'altro di un brevetto per il processo per la differenziazione di queste ultime cellule in neuroni e neuroblasti, cioè le cellule che danno vita ai neuroni.

Il secondo sistema è risultato essere copiato da un articolo pubblicato nel 2003, in russo, sul «Russian Journal of Developmental Biology» da Elena Schegel'skaya, una biologa ucraina che aveva collaborato con Vannoni ma che nel 2010 era tornata a Charkiv per dedicarsi ad altro. Le fotografie allegate alla richiesta di brevetto sono quelle dello studio di Schegel'skaya e di un altro della stessa autrice (e qui starebbe il plagio) ma il metodo descritto (e qui starebbe la frode) non è quello che la ricercatrice ucraina ha seguito per ottenerle.

Ci sono due differenze non irrilevanti nella procedura seguita nella domanda di brevetto rispetto allo studio pubblicato dalla studiosa ucraina per ottenere la differenziazione da cellule staminali mesenchimali a precursori neuronali: la prima riguarda la concentrazione dell'acido retinoico, di $1{,}8 \times 10^{-5}$ moli anziché di 2×10^{-6} moli. La seconda è il tempo di esposizione: tra 20 minuti e 2 ore, anziché una decina di giorni. L'ufficio brevetti statunitense, citando la letteratura scientifica, ha evidenziato come a queste condizioni eventuali cambiamenti della morfologia cellulare siano più probabilmente riferibili a un effetto citotossico, cioè al danno causato alle cellule da tanto acido, che una vera differenziazione.

E nella motivazione del rifiuto ha chiuso la questione: «Non è chiaro come si possano differenziare le cellule staminali mesenchimali in neuroblasti e/o neuroni solo utilizzando una soluzione di acido retinoico ed etanolo, a qualsiasi concentrazione». In effetti, oggi si sa che a quelle condizioni le cellule staminali subiscono

un danno tale per cui si accartocciano e si ritraggono finendo per assomigliare, a un occhio inesperto, a neuroni.

Dopo l'articolo di «Nature» sulle due richieste di brevetto, Vannoni si è difeso attraverso la sua bacheca Facebook e le agenzie: Elena Schegel'skaya è stata una collaboratrice di Stamina e non c'è niente di male a usare le fotografie di una collaboratrice. Schegel'skaya però non è citata nella bibliografia del brevetto: il suo studio del 2003 vi compare invece indicato come lo stato dell'arte, da cui l'innovazione brevettuale si distingue. Raggiunta al telefono da «Nature», e per e-mail dal quotidiano italiano *on line* «Linkiesta», la scienziata ucraina ha riconosciuto le sue fotografie, ha confermato di non avere da lungo tempo rapporti con Stamina e non ha voluto aggiungere altro. A margine si può aggiungere anche che il suo studio, fino alla scoperta di «Nature», era pressoché sconosciuto alla comunità scientifica internazionale.

La questione del protocollo

Intanto il Parlamento italiano discuteva se avviare una sperimentazione del metodo, soprattutto per placare la televisione e la piazza. E poi approvava, rimandando il tutto al Ministero della Salute, che al momento in cui scriviamo ha da poco ricevuto il parere negativo della commissione scientifica incaricata di valutare il protocollo Stamina. Vannoni aveva posto le sue condizioni chiedendo obiettività nella sperimentazione, da intendersi come l'esclusione di alcuni scienziati esperti della materia dal controllo e dalla valutazione dei risultati: scienziati di parte, che si sarebbero distinti nell'accanimento pregiudiziale contro la sua terapia. Aveva chiesto anche di poter scegliere le malattie incluse nella sperimentazione, che, nel caso in cui non si fossero verificati decessi di nessun paziente, sarebbe valsa come fasi I e II della sperimentazione del farmaco, a spese dello Stato. Ma soprattutto aveva chiesto, e per ora ottenuto, di non rendere pubblico il protocollo. Nonostante questo, sul suo sito aveva tuonato contro «una sperimentazione così poco trasparente» definendo i tre milioni di euro (pubblici) destinati a svolgerla «soldi sprecati». Più o meno quello che pensa una buona parte della comunità scientifica, ma per ragioni opposte.

Buona parte, non tutta. Camillo Ricordi dirige il Diabetes Research Institute di Miami: è uno scienziato importante e influente, ed è stato l'unico che pubblicamente, finora, non si è detto contrario alla sperimentazione di Stamina. «Non siamo pro o contro il metodo Stamina – ha dichiarato alle agenzie - ma siamo a favore della verifica nell'interesse dei pazienti». Ricordi ha fondato una rivista scientifica, «CellR4», organo ufficiale dell'associazione The Cure Alliance: nel primo numero, a luglio 2013, «CellR4» ha pubblicato un'appendice sul metodo Vannoni scritta dalla Fondazione Stamina in cui si legge: «Visto che le terapie a base di cellule staminali stromali mesenchimali come quella di Stamina sono risultate sicure, e che teoricamente il numero delle malattie rare e orfane è di qualche migliaio, si propone che ogni preparazione cellulare passi direttamente dalla fase I dei trial alla fase IV post commercializzazione. Questo salverebbe molti pazienti». Cioè: si salverebbero molti pazienti passando direttamente dalla fase in cui basta dimostrare che il farmaco è innocuo alla sua vendita.

Nei mesi scorsi Vannoni ha cominciato a presentarsi al fianco di una multinazionale farmaceutica che commercializza soprattutto prodotti cosmetici e integratori alimentari dimagranti. È Medestea, di Gianfranco Merizzi. Stamina e Medestea sono vincolate da un contratto che prevede la segretezza sul metodo, ragione per cui Vannoni avrebbe chiesto al Ministero di non pubblicare il suo protocollo. Di recente è stata pubblicata dal «Corriere della Sera» una lettera di uno studio legale, firmata da Vannoni in data 21 febbraio 2013, che recita: «La metodica e il *know-how* di Stamina sono uniche al mondo e prevedono passaggi che non sono attualmente ancora oggetto di brevetto, ma sono considerati segreti industriali. Stamina ha ceduto la metodica a società di un gruppo di ricerca e sviluppo farmaceutici, che ha previsto penali pesantissime nei confronti del prof. Vannoni nel caso in cui vengano divulgate, senza autorizzazione scritta, informazioni confidenziali». Ma Vannoni ha più volte ribadito che la cura, una volta superata la sperimentazione, sarà erogata gratuitamente ai pazienti e che i (tentativi di) brevetti sarebbero serviti a evitare il furto della metodica da parte di presunte multinazionali interessate a lucrare sulle malattie.

Rischio Far West

Che cosa sarà nei prossimi mesi di Stamina, e dei malati che si sono affidati a Vannoni, è difficile dirlo. Ma ricordiamoci di Clark Stanley: se si torna al Far West, si torna al Far West per tutti, non solo per Stamina. E al mondo ci sono molte realtà che vendono terapie non verificate a base di cellule staminali e che sarebbero ben liete di aprirsi a un mercato legale e potenzialmente molto vasto come quello della nostra sanità. Tra l'altro la varietà di soggetti impegnati in queste imprese copre uno spettro che va da organizzazioni di fatto criminali a industrie biotecnologiche dignitose e variamente legate all'accademia. Potrebbe diventare difficile fare le dovute distinzioni, perché è da tempo che intorno alle cellule staminali si nutrono interessi economici grandi e complessi. Da molto prima che la televisione italiana scoprisse Stamina.

Una decina d'anni fa molti ricercatori del settore cominciarono a chiedersi se esistessero cellule staminali adulte (così chiamate, secondo alcuni addetti ai lavori, con eccessiva libertà e a rischio

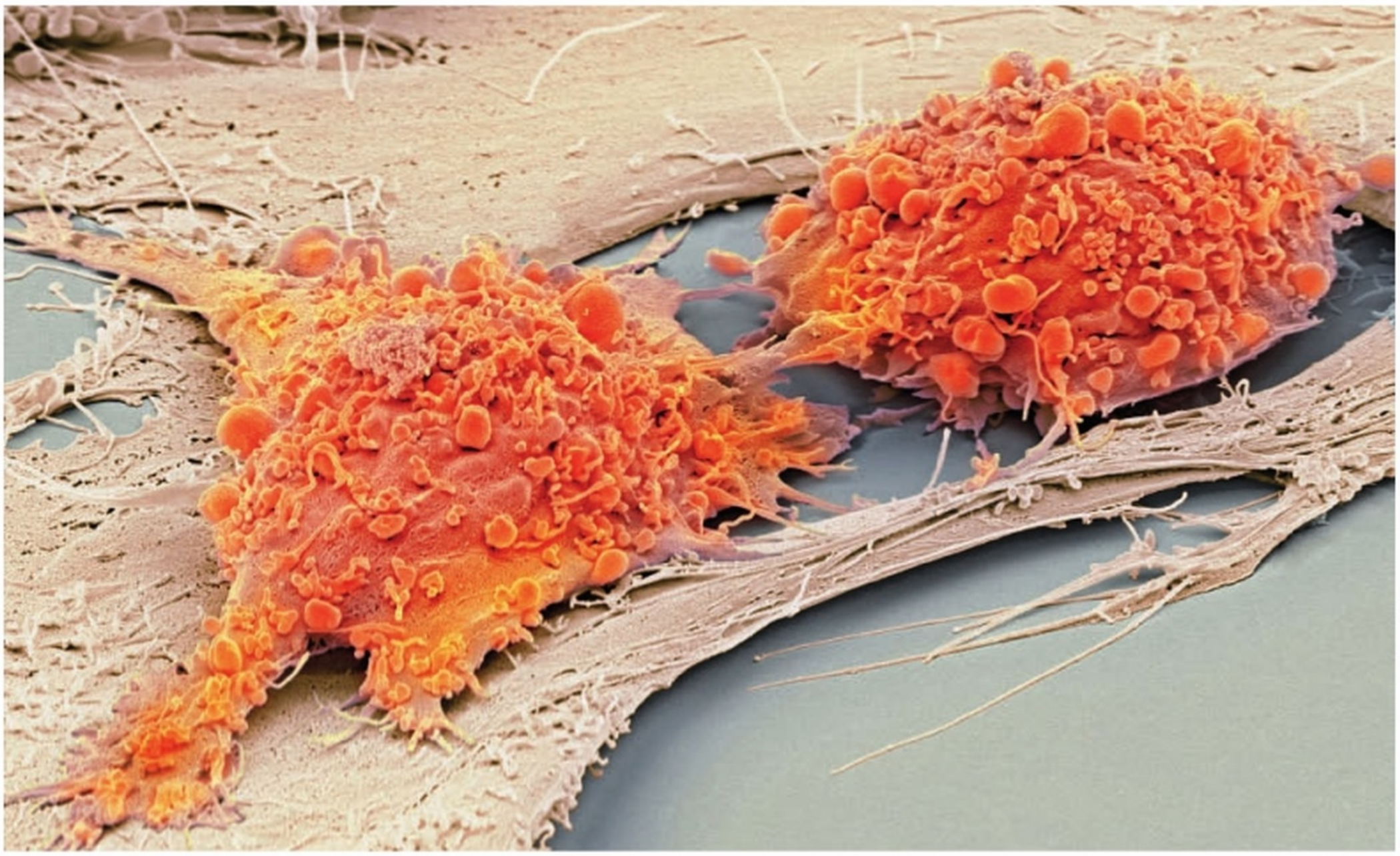
I TERMINI DELLA QUESTIONE

Le cellule staminali mesenchimali

Il termine cellule staminali è comunemente riferito a tipi cellulari molto diversi tra loro. Le cellule staminali embrionali sono cellule derivate in coltura da una specifica parte di embrione a uno specifico stadio di sviluppo. Le cellule della massa cellulare interna sono pluripotenti, ovvero sono in grado di dare origine a tutti i diversi tipi di cellule di tutti i diversi tipi di tessuto. Rimangono nell'embrione fino a poco dopo l'impianto: poi nessuna cellula rimane pluripotente.

Le cosiddette cellule staminali adulte, invece, rimangono nell'organismo per la sua intera esistenza, e permettono l'autorinnovamento dei tessuti. Le cellule staminali adulte non sono pluripotenti: sono multipotenti. A volte sono in grado di dare origine a tipi cellulari diversi compresi fisiologicamente nello stesso organo o tessuto (per esempio i diversi tipi di cellule del sangue), a volte sono unipotenti, cioè sono in grado di dare origine a un solo tipo cellulare.

Le cosiddette cellule staminali mesenchimali, come quelle della foto a fronte, ottenuta con il microscopio elettronico a scansione, sono le cellule staminali adulte, multipotenti, dello scheletro. Tuttavia l'espressione è inaccurata, perché la parola mesenchima indica un insieme di tessuti molto più eterogeneo di quello realmente generato dalle cellule in questione. Sarebbe più corretto chiamarle scheletriche. Non si è mai dimostrato che possano trasformarsi in altri tipi di cellule.



Steve Gschmeissner/SPL/Contrasto

confusione) capaci di comportarsi da cellule pluripotenti, cioè di differenziarsi in diversi tipi cellulari, come fanno le staminali dell'embrione. È stato probabilmente in questa temperie scientifica che Elena Schegel'skaya e altri hanno pubblicato lavori in cui si vedeva (o si credeva di vedere) la differenziazione di una cellula staminale mesenchimale in una cellula di tipo completamente diverso. A incoraggiare questo tipo di pensiero, per molti di sicuro permeato di buona fede, ci fu anche l'idea di produrre in questo modo vere e proprie farmacie cellulari, rimedio di tutti i mali. L'idea, cioè, di poter sviluppare e commercializzare nuove terapie.

Nel 2006 sono arrivate le ricerche di Shinya Yamanaka, che nel 2012 è stato premiato con il Nobel per la medicina. Yamanaka ha dimostrato la possibilità di ottenere cellule staminali pluripotenti a partire da cellule adulte agendo su pochi geni: non sono direttamente le cellule adulte a trasformarsi, per esempio, in neuroni, ma è la riprogrammazione genica che in un certo senso le riporta indietro nel tempo e le fa tornare simil-embrionali.

Con Yamanaka cade il problema etico che per anni ha afflitto il dibattito pubblico su queste ricerche: non c'è più bisogno di distruggere embrioni per avere cellule pluripotenti. Ma cade anche l'idea commerciale di cui sopra.

Quando Vannoni prende in considerazione l'articolo della scienziata ucraina, scritto nel 2003, per il business delle cellule staminali adulte si è aperta un'altra fase. Oggi molte delle realtà sul mercato propongono terapie a base di cellule staminali descritte non più come pluripotenti, ma come genericamente benefiche attraverso il rilascio di fattori di crescita o di presunte capacità di regolazione del sistema immunitario. E le propongono per un'ampia gamma di disturbi: dall'autismo all'incontinenza urinaria, passando per le malattie neurodegenerative e cardiovascolari. A vedere il catalogo di quello che si potrebbe guarire con le staminali si trova davvero di tutto, addirittura in pericolosa contiguità con la cosmetica: sono già in commercio creme per la pelle a base di staminali, segno che almeno l'operazione lessicale di trasformare la parola staminale in un sinonimo di benefico e ringiovanente funziona. Il business è aperto e il mercato c'è, per questo è il momento di tenere alta la guardia.

Oggi, scampato il rischio del primo decreto Balduzzi (quello approvato in Senato che dichiarava le terapie cellulari trapianti) non possiamo ancora dirci fuori pericolo. Proseguono gli attacchi alle principali autorità scientifiche e regolatorie, proseguono i tentativi di introdurre nuove norme per allentare il controllo sulle terapie cellulari, e prosegue artatamente il dibattito mediatico. All'orizzonte sembra di vedere arrivare i carrozzoni di Clark Stanley e degli altri venditori delle versioni moderne dell'olio di serpente. Se oltre ai loro elisir ci berremo anche la fandonia di una compassione che farà saltare norme, regolamenti e istituti preposti a tutelare la nostra salute e le casse del nostro sistema sanitario, la pagheremo cara. Potrebbe essere un nuovo Far West. ■

PER APPROFONDIRE

Stem-Cell Ruling Riles Researchers. Abbott A., in «Nature», Vol. 495, n. 7442, pp. 418-419, 28 marzo 2013.

Italian Stem-Cell Trial Based On Flawed Data. Abbott A., in «Nature», 2 luglio 2013. Disponibile all'indirizzo web: **http://doi.org/m57.**

Pluripotency of Bone Marrow Stromal Cells and Perspectives of Their Use in Cell Therapy. Schegel'skaya E. e altri, in «Russian Journal of Developmental Biology», Vol. 34, n. 3, pp. 185-191, maggio 2003.

Sito dell'International Society for Stem Cell Rsearch: **www.isscr.org.**

Sito dell'Agenzia italiana del farmaco: **www.agenziafarmaco.gov.it.**

Dai super-costumi di nuova concezione ora vietati a dispositivi con cui perfezionare i movimenti degli atleti nei minimi dettagli, le applicazioni della ricerca cambiano il mondo delle piscine

di Nunzio Lanotte e Sophie Lem

Nuoto ad alta tecnologia

Correva l'anno 1977. Il tennista argentino Guillermo Vilas era in una condizione di forma strepitosa. Aveva vinto il Roland Garros, lo US Open e altri tornei, mettendo a segno una striscia di 46 vittorie consecutive, un record mai più battuto fino ai giorni nostri. Nel torneo di Aix-en-Provence Vilas era arrivato in finale senza difficoltà, ed era già pronto alla vittoria numero 47. Ma lo aspettava un'amara sorpresa. L'avversario era il rumeno Ilie Nastase, celebre per la sua eccentricità e per gli scherzi che amava fare, non meno che per lo straordinario talento.

In quell'occasione Nastase si presentò in campo con una racchetta dalla stranissima incordatura, che passerà poi alla storia dello sport come «incordatura spaghetti».

Patrick B. Kraemer/epa/Corbis

Il testo di questo articolo è stato selezionato e adattato dal libro *Sportivi ad alta tecnologia*, di Nunzio Lanotte e Sophie Lem, edito da Zanichelli, Bologna, 2013.

Fu vera gloria?
Alain Bernard alla finale dei 100 metri stile libero ai campionati europei del 2008 a Eindhoven, nei Paesi Bassi, con un costume di nuova concezione. In quell'occasione il nuotatore francese ha stabilito il record del mondo, sorprendendo gli addetti ai lavori.

Nunzio Lanotte è ingegnere meccanico, e nel 2000 ha fondato APLab, uno studio di ingegneria specializzato in tecnologia per lo sport. È consulente del CONI per lo sviluppo di nuove tecnologie. Per molti anni ha praticato il pentathlon moderno a livello agonistico.

Sophie Lem è laureata in legge e in scienze politiche. È traduttrice, fotografa e redattrice freelance specializzata in opere scientifiche.

Frutto degli esperimenti del tedesco Werner Fischer, questa incordatura prevedeva una serie di rinforzi e nodi che conferivano alla palla effetti imprevedibili, in grado di disorientare anche il tennista più esperto.

Grazie a quest'arma segreta Nastase vinse i primi due set, e portò Vilas a un tale livello di esasperazione da indurlo all'abbandono del match.

L'aneddoto è divertente, ma potrebbe essere fuorviante: è molto raro infatti che in campo sportivo la tecnologia si presenti come l'asso nella manica risolutivo, il missile in miniatura uscito dal laboratorio di Q che salva James Bond dalle grinfie del cattivo di turno. Si tratta invece di un esercizio quotidiano e faticoso, proprio come l'allenamento.

Tecnologia significa scegliere i materiali migliori, testarli, raccogliere dati, selezionare quelli importanti, interpretarli. In questo senso si può dire che è l'esatto contrario del doping, a cui talvolta è erroneamente accostata. Il doping è una (fraudolenta) scorciatoia: chi assume sostanze proibite per migliorare le proprie prestazioni non ha certo bisogno di mettersi a fare lunghe analisi biomeccaniche o test in vasca idrodinamica.

Uno scienziato che se ne intende ha detto: «È molto difficile che la tecnologia ti faccia vincere, ma non avere la tecnologia di sicuro ti fa perdere».

Per restare in ambito tennistico, non è certo la racchetta in fibra di carbonio a far vincere un torneo a Rafael Nadal, ma provate voi a giocare contro Federer con una racchetta di legno e poi ne riparliamo.

Nessuna tecnologia, foss'anche la più avanzata, potrà mai sostituire i tre ingredienti indispensabili per vincere nello sport: il talento dell'atleta, l'intelligenza dell'allenatore e le lunghe ore di fatica dell'allenamento.

Nessuna attrezzatura potrà mai trasformare un brocco in Usain Bolt, Michael Phelps o Lindsey Vonn. Tuttavia nello sport ad alto livello non esistono brocchi: ci sono soltanto atleti straordinari in competizione tra loro, e spesso la differenza tra la gloria di Olimpia e l'anonimato si misura in centimetri o in centesimi – talvolta millesimi – di secondo.

È ben noto che c'è tanta tecnologia dietro le vittorie in sport come la Formula 1, la Moto GP o la Coppa America di vela. Meno conosciuto è il fatto che nello sci, nel nuoto o nel ciclismo, per citare soltanto alcuni esempi, ne è entrata ormai quasi altrettanta. In realtà questo processo è in atto da molti anni. Non soltanto la qualità delle attrezzature – racchette, bici, sci, scarpe, imbarcazioni – ha fatto passi da gigante, ma tecnici e atleti hanno a disposizione una quantità enorme di dispositivi di misura della prestazione (metabolimetri, cicloergometri, gallerie del vento, programmi software, telecamere speciali e altri ancora).

Uno sport a parte

Immaginate una finale dei 100 metri con Jesse Owens, Carl Lewis e Usain Bolt. Oppure un Tour de France con Merckx, Coppi e Hinault.

Quello che per gli appassionati di atletica e ciclismo resterà un sogno si è avverato invece per i fan del nuoto il 16 agosto 2004.

Quel giorno alle Olimpiadi di Atene sono scesi in vasca per la finale dei 200 stile libero i tre più forti nuotatori degli ultimi trent'anni, e forse di sempre: lo statunitense Michael Phelps, l'australiano Ian Thorpe e l'olandese Pieter van den Hoogenband. Basti dire che questi tre atleti hanno vinto un totale di 26 medaglie d'oro olimpiche!

La «gara del secolo», come molti la ribattezzarono, si concluse con la vittoria di Thorpe davanti a van den Hoogenband e Phelps, dopo quattro vasche di straordinaria intensità.

Quello che più stupì gli addetti ai lavori, tuttavia, fu vedere che all'uscita di ogni virata Phelps riusciva a recuperare una buona parte del distacco, grazie alla sua straordinaria abilità nella gambata subacquea a delfino.

La cosa apparve ancora più evidente ai Mondiali di Melbourne del 2007. In quell'occasione Phelps vinse e stabilì il nuovo record del mondo davanti a un esterrefatto van den Hoogenband, che durante ogni vasca lo raggiungeva, soltanto per vedersi di nuovo distanziato di almeno un metro a ogni virata. Gli esperti calcolarono che il *Baltimore kid* (come Phelps è soprannominato) aveva guadagnato circa due secondi rispetto al rivale olandese con sole tre virate!

Questo aneddoto la dice lunga sull'importanza fondamentale di una tecnica perfetta nel nuoto, che è uno sport a predominanza aerobica in cui i materiali hanno poca influenza, specie da quando la Federazione internazionale ha proibito i costumi a figura intera e alte prestazioni, di cui riparleremo fra poco.

Proprio per visualizzare, misurare e migliorare ogni singolo gesto tecnico i campioni e i loro allenatori ricorrono sempre più alla tecnologia, che deve però fare i conti con un grosso problema: la presenza dell'acqua rende tutto molto più complicato.

È difficile fare riprese video, è difficile piazzare sensori e dispositivi elettronici perché si bagnano, è difficile fare misure di forza e velocità, le onde radio non si possono usare perché sott'acqua si attenuano molto rapidamente, non ci sono prese di corrente, nelle piscine coperte il GPS non arriva, per citare soltanto alcuni dei problemi.

Tuttavia gli scienziati dello sport non si scoraggiano facilmente; così, dopo tentativi iniziali piuttosto goffi, hanno messo a pun-

IN BREVE

L'applicazione di tecnologie sofisticate allo sport è sempre più diffusa. Ricercatori, allenatori e atleti lavorano insieme per scegliere i materiali migliori e testarli, raccogliere dati e interpretarli.

Un caso emblematico è il nuoto, disciplina in cui anni fa l'introduzione di costumi di nuova concezione, ora vietati, sovvertì le vere gerarchie dei valori tra gli atleti.

Attualmente nel nuoto la tecnologia è usata soprattutto per studiare nei dettagli la tecnica dell'atleta e migliorarla, un esempio di quello che avviene anche in altri sport.

Scienza e talento. Federica Pellegrini alla finale dei 200 metri stile libero ai campionati del mondo del 2009 a Roma, gara conclusa con il record del mondo. Accanto il libro da cui è tratto l'articolo e che racconta il rapporto tra la tecnologia e diversi sport (sci, calcio, ciclismo e nuoto).

Ettore Ferrari /epa/Corbis

to una serie di sistemi ingegnosi per aiutare gli atleti a migliorare le proprie *performance*.

C'è da sottolineare una differenza fondamentale tra il nuoto e altri sport, come il ciclismo: le tecnologie impiegate nell'allenamento per il nuoto sono piuttosto costose e difficili da utilizzare.

Così, mentre per esempio ogni ciclista possiede un computer di bordo e ogni maratoneta un cardiofrequenzimetro, soltanto pochi centri di alto livello dispongono degli strumenti e del personale specializzato capace di tradurre i risultati dei test in indicazioni utili per gli allenatori.

Un anno nuotato molto velocemente

Il 21 marzo 2008 tutti si accorsero che stava succedendo qualcosa di speciale. Quel giorno il nuotatore francese Alain Bernard stupì il mondo abbassando il record dei 100 metri stile libero da 47"84 a 47"60. E il giorno dopo lo ritoccò ancora, portandolo a 47"50.

Tre decimi e mezzo di miglioramento in poche ore, e per di più da parte di un atleta quasi sconosciuto, sono un evento fuori dal comune in questa specialità.

C'erano voluti quasi quindici anni, e campioni del calibro di Matt Biondi e Alexander Popov, per portare quel limite da 48"74 a 47"84.

Bernard era sicuramente un grande talento, ma per una volta gli occhi di tutti non erano puntati sul nuotatore ma sul costume, un indumento dalle caratteristiche del tutto nuove che era stato introdotto un mese prima da una nota azienda.

Il mondo del nuoto fu colto completamente alla sprovvista: non soltanto nessuno immaginava che un costume potesse migliorare così radicalmente le prestazioni degli atleti, ma le modalità stesse del lancio dell'indumento non avevano precedenti.

Infatti il capo non era disponibile sul mercato, ma veniva fornito in esclusiva agli atleti sponsorizzati dall'azienda. Per di più questi atleti lo ricevevano soltanto poche ore prima della gara e dovevano riconsegnarlo subito dopo la gara stessa. Misure di segretezza degne più di 007 che del tranquillo mondo delle piscine!

Ma quel costume non aveva nulla di tradizionale, a cominciare dal modo in cui era stato progettato e costruito.

Per prima cosa il corpo di un nuotatore era stato sottoposto a uno scanning tridimensionale per ricostruirne un modello virtuale. Il modello così ottenuto era poi stato utilizzato in un programma di fluidodinamica numerica (o CFD, *computational fluid dynamics*) per determinare l'andamento della pressione e della velocità dell'acqua attorno al corpo dell'atleta.

Sulla base dei risultati, l'azienda aveva applicato in zone strategiche del costume in lycra una serie di pannelli di poliuretano, un polimero simile alla gomma, in modo da offrire massimo contenimento alle fasce muscolari. Per ridurre il drag i pannelli non erano cuciti, ma saldati a caldo con una tecnica innovativa.

«È molto difficile che la tecnologia ti faccia vincere, ma non averla a disposizione di sicuro ti fa perdere»

I mesi che seguirono furono davvero infernali. Le Olimpiadi si avvicinavano, i record cadevano come foglie e gli atleti che per qualche motivo non potevano indossare i super-costumi (per esempio perché le loro squadre avevano accordi commerciali con altre ditte) erano sul piede di guerra. Nessuno voleva rischiare anni di allenamento per via di un costume sbagliato.

I fortunati possessori, tra l'altro, avevano cominciato a indossare due o addirittura tre super-costumi uno sopra l'altro, migliorando ancora di più le loro prestazioni. I costi non erano trascurabili: un costume di nuova generazione costava dieci volte più di uno tradizionale, e durava soltanto 3-4 gare prima di allentarsi e perdere le sue proprietà taumaturgiche.

I dibattiti sul «doping tecnologico» infuriavano e fioccavano i ricorsi alla FINA, la Federazione internazionale del nuoto. Il regolamento prescriveva che i costumi fossero fatti di *fabric*, parola che in inglese significa «tessuto» (e il poliuretano non lo è) ma in senso lato anche «materiale» (e quindi il poliuretano poteva rientrare nella definizione).

Il drag e la propulsione

Il movimento di un nuotatore nell'acqua è governato fondamentalmente da quattro forze: il peso, la spinta idrostatica (detta anche di Archimede), la propulsione e la resistenza del fluido o drag.

Le prime due forze sono dirette verticalmente, le ultime due orizzontalmente. Tutti gli sforzi di affinamento della tecnica sono diretti ad aumentare la propulsione, cioè la forza che fa avanzare il nuotatore, e a ridurre il drag, la forza che lo frena. In questo modo l'atleta diminuisce il proprio costo energetico, che è definito come il rapporto tra la potenza sviluppata e la velocità raggiunta; in altre parole, riesce a nuotare più velocemente spendendo meno energia.

La questione delle forze che un fluido esercita sul corpo può essere affrontata in modo diffuso. Qui preciseremo soltanto che il drag incontrato dall'atleta è in realtà la somma di tre componenti:

- drag di attrito, dovuto allo sfregamento tra la superficie del corpo e le molecole del fluido;
- drag di pressione, dovuto alla differenza di pressione tra la parte anteriore e quella posteriore del corpo, dove si genera la scia;
- drag d'onda, dovuto all'energia dissipata creando onde.

Il drag di pressione, che dei tre è il più importante, si esprime come: $D = 1/2(C_D \rho v^2 A)$, dove ρ è la densità del fluido, v è la velocità, A la sezione frontale, ossia l'area del corpo visto di fronte, e C_D un coefficiente che dipende dalla forma del corpo del nuotatore e dai suoi movimenti.

Il fatto che nella formula compaia ρ ci dice una cosa molto semplice: dal momento che la densità dell'acqua è quasi mille volte superiore a quella dell'aria, un corpo che si muove nell'acqua incontra una resistenza quasi mille volte superiore allo stesso corpo che si muove nell'aria alla medesima velocità.

Inoltre nella formula la velocità compare al quadrato: se raddoppia, il drag quadruplica.

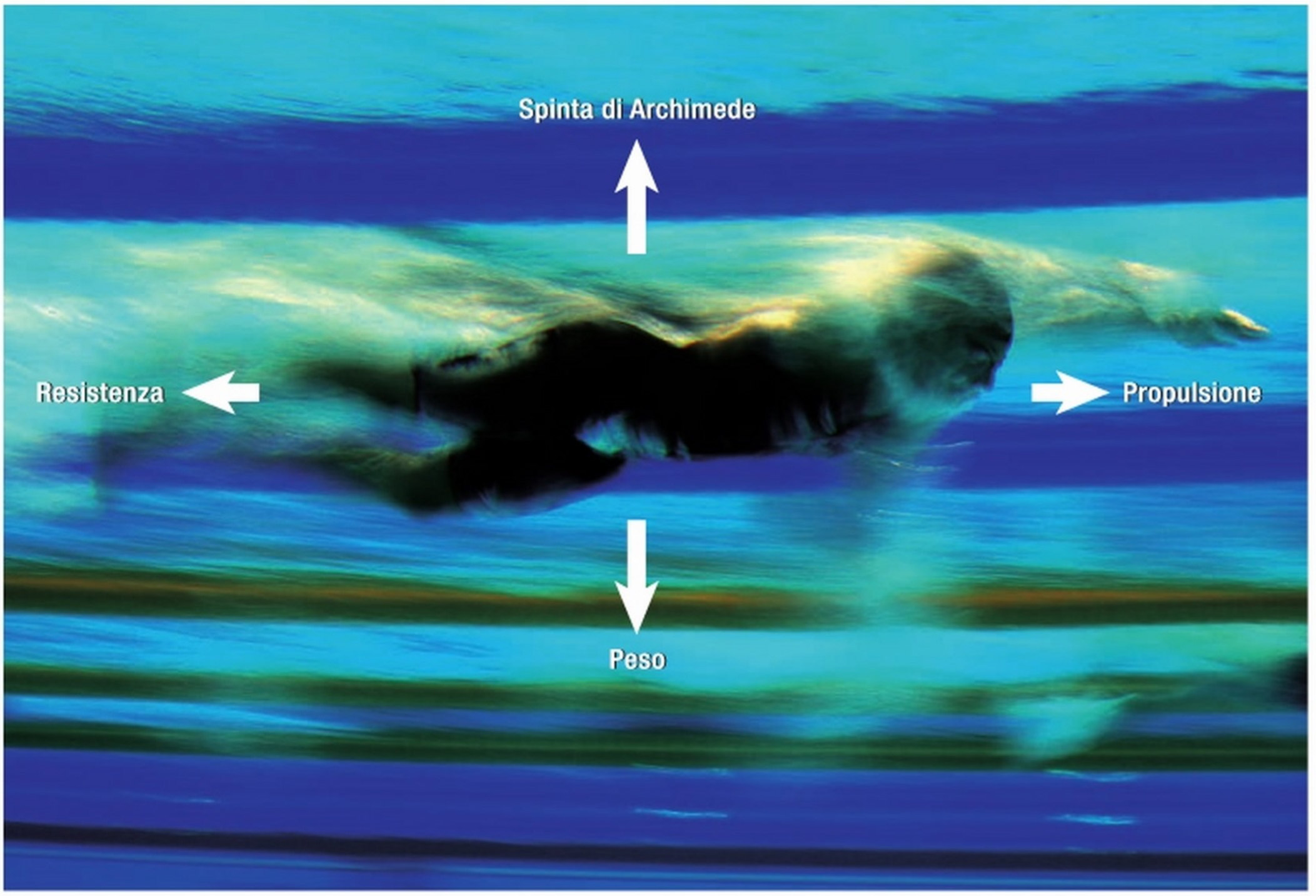
Per questo motivo la tecnica del nuotatore ha un'importanza così fondamentale: l'atleta che riesce a muoversi nell'acqua in modo da ridurre più possibile il proprio drag ottiene un vantaggio enorme rispetto agli altri. La semplice posizione di un piede o il movimento di una mano fanno una gran differenza (il che non è vero per esempio per un maratoneta).

Tutte le tecnologie impiegate nella preparazione dei nuotatori hanno quindi lo stesso scopo: trovare la tecnica e i movimenti migliori per avanzare nell'acqua aumentando la propulsione e riducendo il drag.

Il nuoto, nella versione con o senza pinne, è l'unico sport acquatico in cui la forma dell'oggetto immerso cambia a ogni istante. Questo lo differenzia da vela, canottaggio e kayak: se nel caso di uno scafo si ricerca soprattutto la riduzione del drag, nel nuoto è altrettanto importante l'aumento della propulsione, ovvero la ricerca dei movimenti più idonei a spingere il corpo in avanti.

Ormai da vari decenni la questione è oggetto di studi scientifici, cui la tecnologia ha prestato fin dall'inizio un supporto fondamentale. Negli anni settanta per esempio l'allenatore statunitense James Counsilman riuscì per la prima volta a visualizzare con precisione il moto delle braccia del nuotatore in acqua, attaccando alle dita dell'atleta piccole luci, la cui traccia riproduceva su una pellicola speciale la traiettoria delle mani.

In questo modo Counsilman dimostrò che le mani del nuotatore non si muovono in linea retta da avanti verso dietro, ma descrivono un percorso sinuoso con ampi movimenti laterali. L'allenatore statunitense concluse che il meccanismo propulsivo del nuotatore assomiglia più a quello di un'ala o di un'elica che non a quello di una ruota a pale, il modello generalmente accettato all'epoca.



Tim Clayton/Corbis

Il nuotatore del futuro

Una volta banditi i super-costumi, nel nuoto la tecnologia è utilizzata soprattutto per studiare nei dettagli la tecnica del nuotatore e migliorarla. Un'efficace modifica alla bracciata, alla gambata, alla posizione della testa, al tuffo di partenza possono far guadagnare più di molti chilometri di allenamento, anche se questi restano comunque la base indispensabile del lavoro.

Il problema è che ancora oggi queste modifiche sono implementate in un certo senso «alla cieca»: l'atleta impiega diversi mesi per impratichirsi per esempio con un nuovo tipo di gambata, senza sapere se alla fine risulterà più efficace della vecchia. L'ideale sarebbe invece provare la nuova tecnica in una simulazione al computer e verificare se funziona, prima di farla adottare al nuotatore.

Come abbiamo visto parlando di costumi, è questo il sistema che si utilizza per le attrezzature. Il corpo umano tuttavia è molto più complesso di uno sci o di una racchetta. Costruire un modello che riproduca esattamente tutti i suoi movimenti, o addirittura che ne sperimenti di nuovi, è molto complesso e – almeno per ora – al di là delle capacità della tecnologia.

Tuttavia alcuni scienziati sono già al lavoro, e non è lontano il giorno in cui esisterà un modello virtuale di ogni nuotatore d'élite, da testare con simulazioni fluidodinamiche.

La simulazione sarà in grado di stimare con precisione il drag e la propulsione generati da ogni movimento dell'atleta e di paragonare l'efficacia di decine o centinaia di varianti di un movimento, in un processo che gli ingegneri chiamano di ottimizzazione, fino a trovare la combinazione migliore.

Un altro settore in cui la tecnologia sta facendo passi da gigante è nei sistemi di acquisizione e telemetria. La presenza dell'acqua crea molte difficoltà allo sviluppo di questi sistemi: non soltanto è necessario che sensori e contenitori siano perfettamente stagni, il che significa in genere anche più pesanti, ma l'acqua attenua molto rapidamente le onde elettromagnetiche rendendo impossibile o molto difficile la trasmissione di dati in tempo reale attraverso i sistemi convenzionali quali Wi-Fi o Bluetooth. Inoltre in piscina è difficile utilizzare il GPS, che funziona soltanto all'aperto.

Per superare queste difficoltà i tecnici stanno studiando soluzioni assai ingegnose, come sensori per l'elettromiografia con una piccola memoria di bordo, capaci di immagazzinare i dati nelle fasi subacquee e di trasmetterli appena fuori dall'acqua. Oppure sistemi GPS per ambienti chiusi, basati sulla triangolazione rispetto ad antenne fisse invece che a satelliti, con antenna montata sulla cuffia dell'atleta per rimanere più possibile fuori dall'acqua.

Idealmente questi strumenti dovrebbero essere integrati in un unico sistema capace di fornire in tempo reale tutti i parametri cinematici (posizione, velocità, accelerazione, rollio), dinamici (spinta delle braccia, spinta sul blocco e sulla parete) e fisiologici (battito cardiaco, temperatura corporea, elettromiografia) del nuotatore.

Il giorno in cui un tale sistema di telemetria sarà inventato, ai bordi delle piscine inizieremo forse a vedere ingegneri e strateghi seduti davanti a batterie di monitor, come in Formula 1! ■

COMPORTAMENTO ANIMALE

La corsa agli armamenti acustici

Pipistrelli e altri animali sfruttano il suono come strumento di caccia, ma le prede hanno evoluto strategie per evitare di essere scoperte

di William E. Conner

Cacciatore e preda. I pipistrelli sono cacciatori provetti, che sfruttano il sonar per trovare la preda. Questo esemplare di *Parastrellus hesperus* è a caccia di una falena. Entrambi sono impegnati in una corsa agli armamenti evolutiva.

IN BREVE

Numerose specie di pipistrelli e alcuni cetacei proiettano suoni nell'ambiente circostante e ne rilevano gli echi anche per andare a caccia. Questo processo, l'ecolocazione, si è evoluto decine di milioni di anni fa ed è assai simile alle tecnologie radar e sonar degli esseri umani.

Nel corso dell'evoluzione dell'ecolocazione sono emerse numerose strategie sia di caccia da parte dei predatori che usano armi acustiche sia di evitamento da parte delle prede che devono sfuggire a sonar biologici. Per esempio alcuni pipistrelli modulano la frequenza delle loro emissioni di ultrasuoni, altri cacciano con segnali di frequenza costante. Altri ancora sfruttano entrambe le strategie.

Alcune specie di prede, in particolare falene, hanno sviluppato contromisure, cioè la capacità di generare segnali che interferiscono con quelli emessi dai pipistrelli, in un disperato tentativo di confondere il sonar dei predatori. A loro volta i pipistrelli hanno sviluppato contro-contromisure, per esempio la capacità di rendersi invisibili ai segnali di difesa delle prede, in una corsa agli armamenti che riserverà ancora sorprese.

Michael Durham/Minden Pictures/Corbis

William E. Conner è professore di biologia e *David e Lelia Farr Professor* in innovazione, creatività e imprenditorialità alla Wake Forest University in North Carolina, dove insegna fisiologia comparata, comportamento animale, e bioispirazione e mimetismo. Ha curato *Tiger Moths and Woolly Bears: Behavior, Ecology and Evolution of the Arctiidae* (Oxford University Press, 2008).
La versione originale di questo articolo è stata pubblicata su «American Scientist», maggio-giugno 2013.

Gli animali usano il suono per cacciare in due diversi modi. Alcuni ascoltano passivamente i rumori prodotti dalla preda. Se avete mai visto un gufo prendere un topo nascosto sotto una coltre di foglie o di neve, avete osservato l'efficacia dell'ascolto passivo. Al contrario, molti pipistrelli e alcuni odontoceti (cetacei dotati di denti anziché di fanoni), tra cui i delfini, sono ascoltatori attivi: proiettano suoni nell'ambiente circostante e ne rilevano gli echi, in un processo chiamato ecolocazione, o sonar biologico. L'eco consente loro di orientarsi nello spazio e inseguire le prede: in sostanza, «vedono» usando il suono.

L'ecolocazione si è evoluta oltre 65 milioni di anni fa nei pipistrelli e più di recente anche negli odontoceti. Il sonar biologico è una sofisticata meraviglia che continua a ispirare gli ingegneri che sviluppano tecnologie omologhe, i sistemi radar e sonar usati a terra, in aria e sott'acqua. L'ecolocazione degli animali e i radar e i sonar usati dall'uomo hanno straordinarie somiglianze nel modo di produrre, trasmettere, ricevere ed elaborare i segnali. In un parallelo ancora più interessante, sia nel mondo biologico sia in quello tecnologico sono state messe a punto contromisure che includono la possibilità di essere invisibili e il disturbo del segnale.

Il radar, in origine acronimo di *radio detection and ranging* (radiorilevamento e misurazione di distanza), trasmette impulsi di onde radio; un'antenna riceve poi i segnali riflessi dagli oggetti solidi. Se l'oggetto è in movimento, il segnale riflesso avrà uno spostamento di frequenza permettendo di registrare la velocità dell'oggetto. Le onde radio hanno il vantaggio di viaggiare in aria per lunghe distanze, anche con nebbia o precipitazioni. Sott'acqua, le onde sonore si propagano meglio, quindi è stato sviluppato il sonar (*sound navigation and ranging*, navigazione e misurazione di distanza per mezzo del suono). A parte la differenza nel tipo di segnale, funziona in base agli stessi principi del radar.

Nel libro *Blip, Ping and Buzz: Making sense of Radar and Sonar* (2007) anche il fisico Mark Denny era interessato a confrontare le tecnologie di rilevamento a distanza umane e non umane. La storia dello sviluppo del radar descritta da Denny è ricca di nomi noti come il serbo-statunitense Nikola Tesla e l'italiano Guglielmo Marconi, che per primo trasmise un segnale radio attraverso l'Oceano Atlantico. La narrazione include anche nomi di tutto il mondo, meno famosi: i tanti padri del radar. Lo sviluppo di sistemi efficienti fu stimolato e accelerato dalla seconda guerra mondiale: il primo, costruito sulle coste meridionali e orientali britanniche, aveva una serie di stazioni radar ed era chiamato sistema «Chain Home». Le stazioni erano un sistema di allarme che avvertiva i britannici del fatto che i bombardieri tedeschi si stavano muovendo sullo spazio aereo francese, consentendo alla Royal Air Force di contrattaccare con aerei già pronti in alta quota.

Lo sviluppo del sonar precede il radar di circa trent'anni, ma anche il sonar era una risposta tecnologica a un problema bellico: i sottomarini della prima guerra mondiale. I primi strumenti erano schiere di microfoni sottomarini ad ascolto passivo (o idrofoni) sviluppati per le navi tedesche, come l'incrociatore pesante *Prinz Eugen*, che potevano segnalare l'arrivo di siluri e rilevare obiettivi lontani. Il naufragio del Titanic stimolò l'ulteriore sviluppo dei sonar, dato che questa tecnologia poteva rilevare gli iceberg nell'oscurità e nella nebbia. Gli anni tra le due guerre hanno visto lo sviluppo dell'ascolto attivo, il sonar vero e proprio. Allo scoppio della seconda guerra mondiale, la maggior parte delle navi da guerra angloamericane era dotata di sonar antisottomarino.

Le ricerche sui sonar biologici e artificiali si sono spesso incrociate. All'inizio del Novecento sir Hiram Maxim, un prolifico inventore angloamericano, propose lo sviluppo di un sistema simile a quello dei pipistrelli per proteggere le navi dalle collisioni. Sfortunatamente la conoscenza dell'ecolocazione dei pipistrelli era ancora rudimentale, e Maxim non riuscì a produrre uno strumento efficace. Maxim pensava che per orientarsi i pipistrelli usassero segnali a bassa frequenza prodotti dal battito delle ali. George Washington Pierce, trasferitosi temporaneamente dal Dipartimento di fisica della Harvard University al laboratorio antisottomarini della U.S. Navy a New London, nel Connecticut, aiutò poi lo zoologo Donald Griffin di Harvard a determinare la vera natura dell'ecolocazione dei pipistrelli. Pierce sviluppò un microfono composto di materiali piezoelettrici (che producono elettricità in risposta a stress meccanici), consentendo a Griffin di registrare per la prima volta le emissioni ultrasoniche dei pipistrelli, la base del loro sistema di ecolocazione.

Produzione di segnali

Il funzionamento di radar e sonar, sia biologici sia meccanici, inizia con la produzione di un segnale a impulsi. La regola base della produzione di segnali è la proporzionalità della lunghezza d'onda rispetto alla dimensione della struttura che li produce. I primi sistemi radar avevano una lunghezza d'onda di 12 metri

Sonar ottimizzato. I pipistrelli ferro di cavallo, come questo *Rhinolophus euryale*, emettono il segnale sonar dal naso. Alcuni pipistrelli ferro di cavallo hanno strutture carnose pronunciate sul muso che permettono la produzione di un fascio sonoro assai focalizzato, ottimizzando la capacità di rilevare gli insetti.

(la grande lunghezza d'onda permetteva la rilevazione di oggetti a distanze maggiori), che implicava una grande dimensione del sistema di produzione. Le stazioni del sistema Chain Home erano composte da quattro torri, ciascuna delle quali alta 110 metri, distanti 55 metri l'una dall'altra, con una rete di cavi di acciaio magnetizzato tesa tra di loro. I cavi producevano il segnale in uscita a una frequenza di 25 megahertz. Le corde vocali del pipistrello, invece, sono piccole, e producono onde sonore a lunghezza cortissima, con frequenze dell'ordine delle decine di chilohertz.

C'è un'altra relazione molto importante. Più breve è la lunghezza d'onda, più alta è la risoluzione. Grandi lunghezze d'onda possono essere efficaci per riconoscere oggetti di grandi dimensioni, come le navi, ma sono meno utili per rilevare piccoli obiettivi. In effetti, i primi radar avevano difficoltà a stimare il numero di aerei in arrivo; potevano solo avvertire che qualcosa era in arrivo. I pipistrelli, con il loro sonar a onde corte possono identificare oggetti piccoli come una zanzara, uno scarafaggio o una falena, gli elementi della loro dieta. Jim Simmons, della Brown University, ha scoperto che i pipistrelli sono capaci di una risoluzione di un micrometro, che permette loro di riconoscere anche la struttura superficiale dei loro obiettivi.

Un radar è composto di una serie di elementi, o trasmettitori, che emettono segnali in forma di fascio, come il fascio di luce di una torcia. Fasci più sottili sono preferibili, perché consentono al trasmettitore di concentrare la propria potenza e quindi trasmettere il segnale più lontano e rilevare oggetti più distanti. Fasci più concentrati consentono anche di determinare con maggiore accuratezza la direzione dell'oggetto rilevato. Gli ingegneri possono controllare la forma del fascio modificando la distanza tra i trasmettitori dell'antenna e la sua lunghezza totale.

Anche gli animali possono controllare la forma del fascio. Una recente collaborazione tra Rolf Müller, del Virginia Polytechnic Institute, Zhiwei Zhang, dell'Università dello Shandong, in Cina, e Nguyen Truong, dell'Accademia delle scienze vietnamita, ha evidenziato che le «foglie» dell'esotico naso di *Rhinolophus paradoxolophus*, un membro dei «pipistrelli ferro di cavallo», permettono di generare un fascio estremamente focalizzato, ottimizzando l'abilità di rilevare le prede.

Si possono inoltre immaginare situazioni in cui è utile controllare dinamicamente la forma del fascio. Alcune torce, per esempio, permettono di variare la forma del fascio di luce. Per quanto fasci sottili siano ottimi per trovare obiettivi distanti e rilevarne la direzione, fasci più ampi permettono di controllare un'area più vasta, anche se più vicina. Alcuni odontocefali, come i beluga o come la pseudorca, sono in grado di focalizzare il fascio di ecolocazione modulando la forma della loro lente acustica, detta melone, ricca di sostanze oleose e situata sulla fronte. Un recente studio di Lasse Jakobsen, John Ratcliffe e Annemarie Surlyke, della Syddansk Universitet, in Danimarca, ha dimostrato che anche i pipistrelli possono modificare e adattare la loro «vista» sonar. Spalancando la bocca e incrementando la frequenza dei suoni, possono produrre un fascio più sottile e quindi arrivare più lontano; facendo l'inverso, possono sondare un'area più vasta con un fascio di onde più ampio.

Gli ingegneri e le loro controparti animali hanno poi scoperto altri trucchi. Per esempio, hanno imparato che produrre un segnale che varia in continuazione coprendo diverse frequenze, il cosiddetto *broadband chirp*, ha molti vantaggi. Questa strategia può aumentare la risoluzione in distanza (ovvero la capacità di distinguere due oggetti nella stessa direzione ma a distanze diverse) di due ordini di grandezza. La caratteristica variazione da alta a bassa frequenza di un pipistrello a modulazione di frequenza (a volte detto pipistrello FM) riesce ottimamente nella risoluzione in distanza. I pipistrelli FM cacciano in ambienti complessi, e predano tra rami, cespugli e persino sull'acqua. Altri pipistrelli producono un segnale più lungo e a frequenza costante (e sono chiamanti pipistrelli FC, da *constant frequency*). Il vantaggio della frequenza costante è la possibilità di usare l'effetto Doppler per misurare la velocità relativa della preda. Come il fischio del treno aumenta di frequenza via via che si avvicina, allo stesso modo il pipistrello può identificare l'aumento di frequenza dell'eco di una falena che si muove nella sua direzione.

Hugo Willocx/ Foto Natura/Minden Pictures/Corbis

In passato classificavamo i pipistrelli in FM e FC, ma è diventato evidente che c'è di più. Alcune specie usano il meglio delle due categorie: segnali a banda stretta per rilevare una preda a distanza, e poi saltano a segnali a modulazione di frequenza (a banda larga) mentre si avvicinano alla vittima, quando la risoluzione in distanza diventa fondamentale.

Distanze di trasmissione

Le caratteristiche di trasmissione del mezzo determinano se sono le radiazioni elettromagnetiche o le onde sonore il segnale migliore. Le onde elettromagnetiche (quelle dei radar) viaggiano attraverso l'aria senza attenuazione, o perdita di segnale. Il suono viaggia molto peggio nell'aria, ed è molto più soggetto alle condizioni ambientali, come vento o pioggia; inoltre dipende anche dalla lunghezza d'onda (e dalla frequenza). Gli infrasuoni (con frequenze inferiori ai 25 cicli per secondo, o 25 hertz) viaggiano relativamente lontano nell'aria, e sono usati dagli elefanti e da altri grandi animali terrestri per le comunicazioni a lunga distanza (su un raggio di circa due chilometri). Al contrario, gli ultrasuoni usati dai pipistrelli (con frequenze oltre i 20.000 cicli al secondo, o 20 chilohertz) sono rapidamente assorbiti dalle molecole dell'aria, limitandone l'efficacia a pochi metri.

Sott'acqua, però, il suono regna. Può viaggiare su lunghe distanze ed è assorbito a un tasso di circa l'uno per cento per chilometro. Grazie a questa caratteristica, le balene possono comunicare nelle vastità oceaniche. La comunicazione sottomarina a lunga distanza è facilitata dalla presenza di diversi canali naturali di trasmissione dei segnali a diverse profondità: via via che si scende, la velocità del suono è modificata dal cambiamento di temperatura, salinità e pressione. I gradienti della velocità del suono curvano le onde sonore, concentrandole a specifiche profondità, creando veri e propri canali. Nell'oceano c'è un canale a bassa profondità in cui le onde sonore sono curvate verso la superficie e rimbalzano su di essa, consentendo comunicazioni a distanze più lunghe. A profondità maggiori, c'è un secondo canale (detto SOFAR, da *sound fixing and ranging*), che intrappola i suoni a una determinata profondità e li proietta lateralmente invece che sfericamente. Entrambi i canali facilitano la trasmissione del suono perché la normale diffusione tridimensionale viene limitata a due dimensioni. Sia i sommergibili sia i mammiferi marini sfruttano i canali di trasmissione del suono per un uso più efficace della potenza sonora.

La radiazione elettromagnetica funziona bene nell'aria, ma gran parte delle lunghezze d'onda sono assorbite dall'acqua (99,99 per cento in un metro d'acqua), quindi sono poco utili nel mezzo acquatico. L'eccezione a questa regola è costituita dalla ristretta fascia di lunghezza d'onda che va da 400 a 700 nanometri corrispondente alla luce visibile. Gli organismi acquatici sfruttano in pieno questa finestra per la loro comunicazione visuale.

Segnali in entrata

I sensori usati nei radar e nei sonar sono rispettivamente antenne a dipolo (per esempio le «orecchie di coniglio» dei televisori di una volta) e idrofoni piezoelettrici. Le orecchie di un pipistrello sono i tipici rilevatori di suoni dei mammiferi, con un timpano che vibra in sintonia con i suoni nell'aria e una coclea piena di un fluido che converte le vibrazioni meccaniche nel linguaggio elettrico del sistema nervoso. Gli ossicini dell'orecchio medio, detti catena ossiculare, rispondono all'impedenza del segnale in entrata, una misura della resistenza incontrata da un segnale quando prova a entrare in un sistema. Questa corrispondenza consente una trasmissione più efficace delle vibrazioni sonore dall'aria ai fluidi della coclea.

Le grandi pinne mobili (la parte esterna visibile delle orecchie) sono le caratteristiche più evidenti di un sistema di rilevamento sonoro, e funzionano come riflettori parabolici, incanalando il suono nel canale uditivo. Qui osserviamo di nuovo la regola della dimensione: in molte specie di pipistrelli la dimensione dell'orecchio è proporzionale allo spettro di frequenza dei segnali di ecolocazione che producono. Alta frequenza significa orecchie più piccole; bassa frequenza porta a orecchie più grandi. Le orecchie più grandi le hanno i pipistrelli spigolatori, che tendono a cacciare le prede sul terreno e sulla superficie dell'acqua, e usano l'ascolto passivo per trovare gli obiettivi (i pipistrelli a predazione aerea, invece, cercano le falene in volo). Riescono a sentire il battito delle ali di una falena o i passi di un millepiedi che gli cammina vicino. Le pinne hanno anche un ruolo importante nella localizzazione del suono. Ognuna agisce come un'antenna acustica direzionale, e la forza del segnale in ingresso ricevuto da ciascuna dipende dall'azimut (il suo angolo orizzontale in relazione alla direzione verso cui è rivolto il pipistrello) e dall'altezza del suono. La presenza di due orecchie consente il confronto tra tempi di arrivo, fase e intensità del segnale per localizzare il suono.

Alcune prede hanno sviluppato strategie per disturbare la ricezione del segnale di ecolocazione da parte del predatore

L'orecchio interno del pipistrello è fondamentalmente uguale a quello degli altri mammiferi, con una membrana basilare (una struttura rigida che separa le due spirali piene di fluido della coclea), che contiene cellule ciliate che rispondono alle vibrazioni. La membrana basilare è disposta come una tastiera di pianoforte, ma rovesciata, con la base più stretta e rigida che risponde alle alte frequenze, mentre l'apice più elastico e largo vibra in sintonia con le basse frequenze; lungo la membrana si ha una transizione graduale tra i due estremi. La membrana basilare quindi fa l'analisi della frequenza di ogni segnale in entrata. Le cellule ciliate lungo la membrana basilare trasmettono poi l'informazione al nervo acustico per inviarla al cervello per l'ulteriore elaborazione.

La specializzazione più interessante della membrana basilare si trova nei pipistrelli FC. In questi animali, una parte sproporzionata della lunghezza della membrana basilare è dedicata a una ristretta banda di frequenze intorno alla frequenza costante del segnale lanciato dal pipistrello. Questa parte della membrana basilare è stata detta «fovea acustica», in parallelo alla parte della retina nell'occhio dove sono concentrati i recettori per la luce. La sua presenza indica che questi pipistrelli hanno una maggiore risoluzione per le frequenze per la rilevazione dello spostamento Doppler degli echi.

Conoscere il momento preciso dell'arrivo di un eco è fondamentale, perché consente al pipistrello di determinare la distanza dell'oggetto. Isolare un eco dal rumore di fondo è un compito complesso. L'intensità dell'eco può essere 1000 volte inferiore rispetto al rumore di fondo. Il compito è reso possibile da una funzione matematica detta correlazione incrociata. Il trasmettitore tiene una copia del segnale inviato e continuamente confronta la copia con quello che riceve, finché rileva una buona corrispon-

Lente in testa. Le pseudorche sono in grado di focalizzare il proprio segnale di ecolocazione modulando la forma di una struttura che si trova sulla fronte e che funziona come lente acustica.

Hiroya Minakuchi/Minden Pictures/Corbis

denza. La corrispondenza è ottenuta moltiplicando la copia per il segnale in ingresso; quando tutto corrisponde adeguatamente, il prodotto delle due curve raggiunge un picco e segnala al ricevitore che l'eco è arrivato. C'è un modo per visualizzare il processo: alzate le mani davanti al viso, una rivolta verso di voi, l'altra al contrario. Una mano rappresenta il segnale in uscita, l'altra l'eco. Fate scorrere le mani una oltre l'altra da destra a sinistra. È evidente quando le due mani si sovrappongono: c'è una buona correlazione incrociata e l'eco è arrivato. Questo metodo è ancora più accurato quando il segnale è modulato in frequenza, in forma di cinguettio.

L'elaborazione dello spostamento Doppler è estremamente efficace. Permette al ricevitore di avere informazioni aggiuntive oltre ad azimut, quota e distanza, perché permette di conoscere la velocità relativa. Immaginate un pipistrello che vola. Tutti gli elementi dello scenario, gli alberi, il terreno e i cespugli, hanno una velocità relativa uguale a quella del volo del pipistrello. Ora immaginate una falena che vola verso il pipistrello: avrà una diversa frequenza, spostata dall'effetto Doppler, e risalterà sullo sfondo, diventando un potenziale obiettivo. I pipistrelli FC dedicano una frazione straordinariamente grande del cervello e della sua capacità di elaborazione a misurare piccoli spostamenti doppler. Le ricerche del laboratorio di Hans-Ulrich Schnitzler, della Eberhard Karls Universität di Tubinga hanno mostrato che i pipistrelli con i baffi (*Pteronotus parnellii*) possono usare l'effetto Doppler per rilevare il battito delle ali di una falena, un'informazione potenzialmente utile per distinguere i tipi di preda.

Il vero problema della ricezione sonar e radar sono i disturbi, gli echi da oggetti che dovrebbero essere ignorati. I disturbi comprendono gli echi della pioggia (la cosiddetta confusione da volume) o dalle superfici di sfondo, e qualsiasi cosa che diminuisca il rapporto tra segnale e rumore. Immaginate effettuare un rilevamento da un aereo a bassa quota mentre vola sopra edifici che restituiscono tanti echi complessi. Per un pipistrello questa situazione è equivalente al rilevamento di una falena che vola vicino a un cespuglio, con ogni foglia che riflette un eco di disturbo. Di nuovo, è l'effetto Doppler ad aiutare, ma è utile anche un secondo meccanismo. Alcuni pipistrelli emettono i suoni a coppie: alterando la frequenza delle due emissioni, il pipistrello può registrare e distinguere gli echi più efficacemente, neutralizzando il disturbo.

Tuttavia, alcune prede sfruttano i disturbi per nascondersi. La falena fantasma (*Hepialus humuli*) diventa «invisibile» al sonar dei pipistrelli formando gruppi poco sopra la vegetazione (meno di mezzo metro), confondendosi efficacemente negli echi che il pipistrello riceve da rami e foglie. Probabilmente molti altri insetti usano questa strategia, analoga al mimetismo criptico del mondo visibile, dove ci si trasforma per confondersi con lo sfondo.

Combattimento evolutivo

I progettisti di radar e sonar sono sempre in competizione. Ogni miglioramento nel rilevamento genera sforzi maggiori per progettare contromisure con cui rendere il rilevamento più difficile. Di recente ci si è dedicati a ridurre fino dimensioni minime la sezione trasversale radar (RCS, *radar cross section*), che misura la rilevabilità di un oggetto. Il risultato lo conosciamo con il nome di aerei *stealth*. Raramente negli *air show* o in grandi eventi sportivi man-

Attacco alla falena. Questa sequenza di immagini permette di sintetizzare le diverse fasi, da sinistra a destra, di impiego del sistema di ecolocazione nella caccia. Prima il pipistrello cerca la preda con fasci direzionali che non sono mirati alla preda, in questo caso una falena. Dopo la rilevazione, il predatore localizza la preda e aggancia l'obiettivo con il sonar. A questo punto il pipistrello riduce l'intensità delle sue emissioni, e in questo modo gli echi ritornano a un livello costante durante la fase di inseguimento e di cattura.

ca il volo di un aereo dalla forma strana, il bombardiere Stealth B-2. La sua sezione trasversale radar è stata ridotta nascondendone i grandi motori e le superfici di controllo all'interno dell'ala, accentuando angoli che permettono alle onde di riflettersi lontano dai ricevitori radar e usando materiali e vernici che assorbono o impediscono il riflesso radar: si dice che i bombardieri stealth abbiano la sezione trasversale radar di un francobollo.

Per non essere da meno, anche gli insetti possono essere quasi invisibili. Alcune prede possono usare meccanismi simili per ridurre l'eco verso i pipistrelli. Jinyao Zeng, Shuyi Zhang e i loro colleghi dell'East China Normal University a Shanghai hanno ipotizzato che le squame sulle ali delle falene possano ridurre l'ampiezza degli echi che rimandano ai pipistrelli, assorbendo i suoni dell'ecolocazione. Questa caratteristica darebbe alla falena un piccolo ma significativo vantaggio per evitare il rilevamento. Le squame delle falene notturne raddoppiano il fattore di assorbimento delle ali per i suoni con frequenza tra 40 e 60 chilohertz, in modo da ridurre l'intensità dell'eco fino a due decibel in meno rispetto alle ali senza squame, rendendo più difficile il rilevamento da parte dei pipistrelli. Anche le ali delle farfalle usate come controllo avevano le squame, ma non hanno mostrato questo effetto.

Sebbene il meccanismo di assorbimento del suono debba ancora essere determinato, le squame delle falene hanno spesso spazi tra loro e sono coperte da micropori e lacune che ricordano i materiali fonoassorbenti artificiali. È probabile che questa sia solo la punta dell'iceberg, e che verranno alla luce molti esempi di strutture stealth in grado di ingannare i predatori sonar.

Strategie di interferenza

Dopo lo sviluppo di sonar e radar vennero ideati sistemi per confonderli, disturbando la ricezione e l'elaborazione degli echi: un processo di interferenza chiamato anche *jamming*. Alla nascita di questa guerriglia elettronica hanno contribuito enormemente due soggetti: il programma di sviluppo avanzato Skunk Works di Lockheed Martin e un'organizzazione no profit internazionale chiamata Association of Old Crows (il nome è un gioco di parole sugli operatori e le attrezzature radar alleati nella seconda guerra mondiale, il cui nome in codice era *raven*, corvo). Entrambi i gruppi hanno sviluppato contromisure e contro-contromisure elettroniche in campo militare. Questa *escalation* ricorda le corse agli armamenti nell'evoluzione che affascinano i biologi.

I metodi di interferenza sono due: passivo e attivo. Il primo comprende l'uso di materiale lanciato da un aereo, per esempio strisce di alluminio o fibre di vetro metallizzate con cui confondere il radar nemico su posizione e movimento del mezzo. I metodi attivi si basano su segnali elettronici progettati per accecare o ingannare il radar. Le interferenze sonore rendono invece inservibile il ricevitore sommergendolo con un forte rumore elettronico, che rende difficile per il ricevitore rilevare il flebile eco dell'oggetto. Un disturbatore di ripetitori produce una copia dell'eco reale ma con un tempismo sbagliato, inducendo il ricevitore a rilevare un oggetto «fantasma» che si muove nella direzione sbagliata. L'interferenza attiva è però rischiosa, perché potrebbe involontariamente dare al ricevitore radar un nuovo segnale cui agganciarsi.

Potrebbe sembrare improbabile che gli insetti possano giocare simili scherzi ai pipistrelli, ma la corsa agli armamenti della coevoluzione tra pipistrelli e insetti va avanti da 65 milioni di anni: un sacco di tempo per sviluppare misure e contromisure molto sofisticate. Nel mio laboratorio abbiamo scoperto che le falene tigre ecuadoriane del genere *Bertholdia* (sottofamiglia *Arctiinae*, famiglia *Erebidae*), producono un ticchettio cacofonico quando un pipistrello è a caccia. La falena intercetta i segnali sonar di un predatore che si avvicina usando «rilevatori di pipistrelli» (orecchie sintonizzate sulle alte frequenze) e risponde.

I suoni anti-pipistrello sono prodotti da piccole vesciche di cuticola, i «timballi», disposte ai lati del torace. Ogni timballo ha circa 30 pieghette, distribuite in una banda striata. Quando sono attivati, i muscoli sottostanti deformano in successione tutte le pieghe,

Stephen Dalton/Minden Pictures/Corbis

in modo da produrre una sequenza di ticchettii. Il timballo produce poi una seconda sequenza quando torna alla sua forma iniziale. I ticchettii anti-pipistrello sono prodotti con una frequenza fino a 4500 ticchettii al secondo: ciò significa che metà delle volte in cui il pipistrello tenta di elaborare gli echi riceve anche i rumori spuri delle falene. Questo comportamento è l'esempio più tipico di interferenza sonora. I timballi sono tipici di *Bertholdia* e delle specie imparentate, e la loro distribuzione tassonomica suggerisce che l'organo sia un'arma antica contro i pipistrelli a ecolocazione.

Il mio studente di dottorato Aaron Corcoran ha determinato che i ticchettii di *Bertholdia* portano i pipistrelli a mancare le prede sia in laboratorio sia sul campo. Come funzionano questi suoni di disturbo? La logica è la stessa descritta per i radar. Alcuni ricercatori hanno ipotizzato che se i rumori delle falene fossero sufficientemente simili agli echi riflessi dalle prede, in termini sia di spettro sia di tempi, i pipistrelli potrebbero percepirli come echi di oggetti che non esistono, degli obiettivi fantasma. Secondo, se i ticchettii sono sufficientemente numerosi e intensi, potrebbero mascherare la presenza di echi, rendendo invisibile l'obiettivo. È tuttavia possibile un terzo meccanismo. Un ticchettio che si sovrapponga o preceda di poco gli echi potrebbe diminuire la precisione di un pipistrello nel determinare la posizione dell'obiettivo.

Le tre ipotesi di interferenza possono essere distinte grazie a quanto viene percepito dal pipistrello: oggetti multipli che circondano la falena nel caso dell'ipotesi dell'oggetto fantasma, nessun oggetto per l'ipotesi di mascheramento, e un oggetto sfocato per l'ipotesi di interferenza posizionale. Fino a oggi i risultati di Corcoran indicano che l'ultima ipotesi sia quella più probabile, perché i pipistrelli mancano le falene disturbanti, sbagliando in accordo con le previsioni dell'interferenza posizionale.

Corcoran ha anche mostrato che le falene disturbanti producono i segnali solo quando il pipistrello le ha «agganciate» e sono in grave pericolo. La falena identifica la minaccia percependo una combinazione di aumento dell'intensità del segnale emesso dal pipistrello e una diminuzione dell'intervallo tra gli impulsi sonori del predatore. La soglia per la produzione del suono di disturbo da parte di *Bertholdia* è associata a questi parametri, e permette alla falena di determinare se è stata puntata dal pipistrello.

L'ultima vetta della corsa agli armamenti pipistrello-falena è stata osservata da Holger Goerlitz e Marc Holderied e dell'Università di Bristol, che hanno scoperto un pipistrello stealth. Il pipistrello *Barbastella barbastellus*, che caccia in volo, ha abbassato l'intensità del suo sonar tra 10 e le 100 volte, in modo che le falene non riescono a rilevarne la presenza fino a quando è troppo tardi per sfuggire al proprio destino.

Pipistrelli e falene sono impegnati in una sfida continua che chiamiamo «corsa agli armamenti diffusa», con diverse specie di pipistrelli in battaglia evolutiva contro diverse specie di falene. Abbiamo solo iniziato a capire questa corsa, e avremo presto nuove sorprese. Le falene tigre includono circa 11.000 specie in tutto il mondo e si stima che ci siano altri 200.000 tipi di falene che solcano i cieli notturni, senza contare scarafaggi, cavallette, grilli, grilli talpa, mosche, crisopidi, locuste, farfalle notturne, mantidi. Ogni insetto che vola dopo il tramonto deve avere una strategia contro il sonar dei predatori notturni per eccellenza, i pipistrelli. E la lotta continua. ■

PER APPROFONDIRE

Sound Strategies: The 65-Million-Year-Old Battle Between Bats and Insects. Conner W.E. e Corcoran A.J., in «Annual Review of Entomology», Vol. 57, pp. 21-39, 2012.

Sonar Jamming In the Field: Effectiveness and Behavior Of a Unique Prey Defense. Corcoran A.J.e altri, in «Journal of Experimental Biology», Vol. 215, pp. 4278-4287, 2012.

An Aerial-Hawking Bat Uses Stealth Echolocation to Counter Moth Hearing. Goerlitz H.R., Holderied M.W. e altri, in «Current Biology», Vol. 20, pp. 1-5, 2010.

Echolation in Bats and Dolphins. Thomas J.A., Moss C.F. e Vater M., University of Chicago Press, Chicago, 2004.

DOSSIER

STUDI NELLE DIGHE

Illustrazione di FOREAL

ARE
ERA
ITALE
F6

IN BREVE

Analisi dati, streaming video e molte altre tecnologie stanno passando dal grande mercato di consumo alle università e alle scuole. **I MOOC** (*Massive Open Online Course*), corsi on line aperti a tutti, stanno tentando di portare gratuitamente l'istruzione di livello universitario fino agli angoli più remoti del pianeta.

Piattaforme informatiche per l'apprendimento adattativo seguono da vicino i progressi di ogni studente, configurano i contenuti a seconda delle capacità individuali e prevedono l'andamento del profitto. **Alcuni obiettano**, però, che bisognerebbe investire nella formazione di buoni docenti almeno quanto si investe in tecnologia.

INTRODUZIONE

I big data vanno a scuola

La tecnologia sta trasformando ogni aspetto dell'istruzione, portando i migliori corsi universitari ai cittadini più poveri del mondo e modificando il modo di imparare e di insegnare

La scuola non è cambiata molto negli ultimi secoli. Gli studenti vanno a lezione, prendono appunti e fanno i compiti; gli insegnanti spiegano e, di tanto in tanto, assegnano un compito in classe. Poi danno i voti e passano all'argomento successivo. Di solito gli studenti, soprattutto i meno avvantaggiati, frequentano la scuola o l'ateneo più vicini a casa, a prescindere dalla qualità dell'insegnamento.

Ma tutto questo sta cominciando a cambiare. In una percentuale piccola ma crescente di scuole, gli studenti seguono le lezioni on line e, quando arrivano in classe, sono pronti per esercitarsi e lavorare con insegnanti e compagni. Interagiscono con software che permettono loro di studiare seguendo i propri tempi, indipendentemente da ciò che sta facendo il resto della classe. Programmi analoghi servono agli insegnanti per valutare compiti ed esercitazioni, aiutandoli a seguire da vicino più studenti alla volta. E le scuole locali non sono più l'unica scelta possibile; nuove aziende e organizzazioni no profit stanno portando corsi on line di alto livello a chiunque abbia una connessione Internet.

Mitch Payne

Quale impulso muove la rivoluzione digitale? Un fattore è che scuole e università, in ogni parte del mondo, stanno subendo una pressione senza precedenti. Mentre il numero di studenti che aspirano a una formazione superiore aumenta, i finanziamenti sono in calo, e presidi e rettori non hanno i mezzi per assumere gli insegnanti che servirebbero. Contemporaneamente governi e istituzioni (spronati dal mondo del lavoro) alzano i livelli di preparazione che gli studenti devono raggiungere a ogni stadio del percorso scolastico. Molti vedono una soluzione nella tecnologia, mentre altri ritengono che migliori di poco ciò che possono fare i docenti e rappresenti invece una minaccia per la privacy degli studenti. Le pagine di questo dossier esplorano le frontiere di questa nuova era digitale dell'istruzione e quali sono le sue possibili conseguenze per gli studenti, le famiglie, gli insegnanti e l'intera società.

Fotografie di Jonathan Torgovnik

Superare le disuguaglianze: corsi on line integrati da insegnanti locali aiutano più giovani ruandesi a frequentare il college.

I MOOC

Speranze e illusioni

Uno sguardo dall'interno a un coraggioso esperimento globale: usare corsi gratuiti on line per portare un'istruzione di livello universitario nelle aree più svantaggiate del pianeta

di Jeffrey Bartholet

Tujiza Uwituze ha lavorato duramente, e alla fine è arrivata fra i primi della classe. Ma nella scuola superiore che ha frequentato, in Rwanda il livello di istruzione era ancora troppo basso per gli standard internazionali. I professori le facevano imparare tutto a memoria e ripetere a pappagallo, e a scuola non c'era neanche un computer. Di conseguenza il suo inglese è zoppicante e la sua abilità al computer piuttosto scarsa. Vive a Kigali con un prozio, e ha 75 dollari di risparmi. Nonostante si sia impegnata a fondo e abbia un forte desiderio di arrivare, i sogni che coltiva sono fuori della sua portata. O lo sarebbero, se non fosse per un nuovo progetto che potrebbe cambiarle la vita per sempre.

Obiettivo dell'esperimento, detto Kepler e condotto da una piccola organizzazione no profit chiamata Generation Rwanda, è di usare corsi di massa on line accessibili a tutti, i cosiddetti MOOC (Massive Open Online Course), per fornire un'istruzione superiore ai giovani ruandesi nati intorno all'epoca del genocidio del 1994.

Accesso remoto. Per laurearsi in scienza delle finanze, Uwituze – qui con la madre a Kigali – studia soprattutto con i corsi gratuiti on line.

Il primo corso sperimentale, un ciclo di lezioni dell'Università di Edimburgo intitolato «Pensiero Critico e Sfide Globali», è iniziato a marzo. Una quindicina di studenti ha seguito le lezioni in video scaricate da un'apposita piattaforma MOOC e, sotto la guida di un'insegnante del luogo, ha frequentato brevi seminari e sessioni di formazione individuale in un'aula di Kigali, in una modalità didattica definita di apprendimento misto.

Per una studentessa come Uwituze – ancora bambina quando, nel 1994, gli Hutu massacrarono 800.000 persone tra Tutsi e i loro simpatizzanti Hutu – era un'opportunità straordinaria. Durante il genocidio la sua famiglia fuggì: prima in Burundi, poi in Tanzania e infine in Kenya. «Abbiamo perso i soldi, la casa, tutto», racconta Uwituze. Dopo tanti anni di fuga, la scuola era l'unica cosa che le fosse rimasta. A 14 anni è tornata in Rwanda, e lo scorso novembre ha conseguito il diploma delle superiori. In Rwanda il costo annuale per frequentare l'università pubblica, e ottenere una formazione al di sotto degli standard internazionali, è di 1500 dollari, più di quanto la famiglia di Uwituze possa permettersi. Sua madre è disoccupata, e lei ha tre sorelline cui badare. Quando le è stata rifiutata la borsa di studio richiesta a un'organizzazione che aiuta i giovani ruandesi a studiare nelle università degli Stati Uniti, un funzionario le ha suggerito di partecipare al progetto Kepler. Così è diventata uno dei 15 studenti invitati a partecipare al corso sperimentale che serviva a verificare il formato dei MOOC. Uwituze ha poi fatto domanda per essere accettata in una classe più ampia, che questo autunno seguirà un piano di studi MOOC completo.

Kepler ha ricevuto 2696 richieste di iscrizione per appena 50 posti appena disponibili nel programma autunnale. Ad aprile 600 studenti hanno affrontato un esame, e 200 sono stati accettati alla selezione finale: fra loro c'era anche Uwituze. Gli ammessi hanno sostenuto un colloquio individuale e partecipato ad attività di gruppo sotto lo sguardo dei funzionari del progetto Kepler, che dovevano valutarne tratti del carattere come l'attitudine al comando, la collaboratività e la capacità di risolvere problemi. Lo scopo era formare una classe che comprendesse differenti personalità: timidi ed estroversi, giocherelloni e pedanti, creativi e coscienziosi. La posta in gioco era alta. Jean Aime Mutabazi non ha superato la prima selezione, e c'è rimasto male. Quasi tutti i suoi parenti maschi, incluso il padre, sono stati uccisi nel genocidio. Ora abita con la madre che, con una gamba mutilata, per vivere vende carbone in una

35 %

La frazione degli insegnanti statunitensi di scuola materna con un tablet o un e-reader in classe

Un tocco personale: Christine Yarng, insegnante, integra i corsi on line incontrando gli studenti di persona.

Fonte dati: PBS LearningMedia
Ritratti di David Despau

Lezioni personali di massa

Come migliaia di studenti possono godere i vantaggi di un insegnamento individuale

di Peter Norvig

Da almeno trent'anni gli insegnanti sanno che, per farli rendere meglio, gli studenti vanno seguiti uno per uno, controllando, più che il risultato finale, la loro padronanza della materia. È necessaria anche una forte motivazione, che può venir loro da dentro o da genitori, insegnanti e compagni. La nascita dei corsi on line aperti a tutti (MOOC, Massive Open Online Course) annullerà questi fattori di successo? Niente affatto. Gli strumenti digitali offrono grandi possibilità, consentendo di ottenere un apprendimento efficace e personalizzato.

Lo so perché ho sperimentato entrambe le modalità d'insegnamento. Per anni, insieme a Sebastian Thrun, ho tenuto corsi d'intelligenza artificiale alla Stanford University e altrove; facevamo lezione, assegnavamo dei compiti e alla fine gli studenti dovevano affrontare tutti insieme lo stesso esame. Ogni semestre, gli allievi abituati a discutere gli argomenti in classe non erano che il 5-10 per cento; gli altri erano decisamente più passivi. Io e Sebastian abbiamo cominciato a pensare che si poteva fare qualcosa di meglio.

Così nell'autunno 2011 abbiamo sperimentato un metodo nuovo. Al nostro corso tradizionale ne abbiamo aggiunto uno on line, gratuito e accessibile a chiunque. Gli iscritti sono stati subito tantissimi: 100.000, di cui 23.000 hanno concluso l'intero programma.

Ispirati dalle parole del premio Nobel Herbert Simon, secondo il quale «l'apprendimento viene da ciò che lo studente fa e pensa, solo e unicamente da ciò che lo studente fa e pensa», abbiamo creato un corso incentrato sul *fare* e su frequenti riscontri da parte nostra. Le nostre «lezioni» consistevano in brevi video (fra i due e i sette minuti di durata) che preparavano gli studenti alle esercitazioni successive. Per risolvere alcuni problemi bisognava applicare i procedimenti matematici descritti nelle videolezioni, mentre i questionari a domande aperte permettevano agli studenti di riflettere e discutere le proprie idee nei forum on line.

Il nostro programma, orientato a un apprendimento attivo anziché passivo, forniva vantaggi analoghi a quelli del tutoraggio individuale, e gli studenti risultavano più motivati. Anzitutto, come conferma lo studio del 2013 pubblicato da Karl Szpunar, Novall Khan e Daniel Schacter nei «Proceedings of the National Academy of Sciences», le interazioni frequenti evitano tendenzialmente i cali d'attenzione. In secondo luogo, come descrivono William Wood e Kimberly Tanner in un articolo del 2012 su «Life Science Education», quando gli studenti si sforzano di trovare da soli le spiegazioni anziché ascoltare passivamente quelle dell'insegnante, l'apprendimento migliora. È per questo che un sistema di tutoraggio automatizzato, se progettato con cura, può favorire l'apprendimento esattamente come gli insegnanti in carne e ossa: lo conferma anche Kurt van Lehn in una meta-analisi pubblicata nel 2011 su «Educational Psychologist».

Un vantaggio cruciale, infine, è stato il rapido miglioramento del corso. Abbiamo cercato di capire dove i nostri allievi riuscivano meglio o peggio, individuando i punti che andavano perfezionati. Non solo, abbiamo raccolto queste informazioni ora per ora. Ad analizzare questi dati sono stati nel nostro caso alcuni docenti in carne e ossa, ma la stessa funzione può essere svolta da un sistema di intelligenza artificiale, in grado poi di offrire allo studente suggerimenti per migliorare: proprio come fanno gli odierni siti di shopping on line quando ti suggeriscono in modo automatizzato i libri o i film che potrebbero piacerti.

La didattica on line è solo uno strumento, proprio come i libri di testo. Ciò che conta è il modo di usarla.

Peter Norvig è direttore del settore ricerca di Google. Insegna all'Association for the Advancement of Artificial Intelligence, di cui è consulente, e con Stuart Russell ha scritto Intelligenza Artificiale. Un approccio moderno, *Pearson, 2005.*

baracca di cemento. «Riesci a immaginare cosa significa avere un problema e nessuno cui rivolgerti?», chiede. «Essere istruiti è come avere un potere magico, ti si aprono tutte le porte. Se sai le cose puoi controllare la situazione in cui vivi».

Uwituze ha superato la selezione finale. All'inizio avrebbe voluto fare il pilota d'aereo, ma ora ha ripiegato su un possibile impiego in banca. Con Kepler potrà studiare economia. «L'istruzione è la mia sola possibilità di sopravvivenza – dice – il solo modo per prendermi cura delle mie sorelle, che hanno bisogno di me». Gli ammessi alla sessione autunnale seguiranno gratuitamente le lezioni offerte on line dalle più importanti università degli Stati Uniti, con il supporto e la guida di docenti statunitensi a Kigali, e avrà vitto e alloggio pagati.

Secondo le stime del direttore esecutivo di Generation Rwanda, Jeamie Hodari, dopo un investimento iniziale di 100.000 dollari per la progettazione e la verifica del funzionamento del corso, i costi didattici a carico dell'organizzazione per ogni studente, inclusi i computer portatili e gli stipendi dei professori, ammonteranno a circa 2000 dollari all'anno. Hodari spera, nel tempo, di abbassarli a 1000. Inizialmente, gli studenti seguiranno un unico indirizzo di studio che li porterà a una laurea biennale non specialistica, con particolare concentrazione nell'amministrazione aziendale.

Il corso è erogato dalla Southern New Hampshire University, che ha un programma di studi molto innovativo e valuta gli studenti in base alle reali competenze anziché per il numero di ore trascorse in classe. Uwituze nutre qualche perplessità sull'approccio on line, teme che l'esperimento possa esaurirsi o che le sue credenziali non vengano accettate dappertutto, ma sa che ha da guadagnare più con Kepler che con qualsiasi tradizionale università ruandese. «Qui gli studenti sono quasi tutti poverissimi», dice. «Se ti concedono un'opportunità del genere non puoi rinunciare».

Dove contano di più

Portare alle popolazioni più povere del pianeta i corsi delle migliori università del mondo è di sicuro la speranza (e secondo alcuni l'illusione) del movimento alla base dei MOOC. I gestori delle grandi piattaforme che forniscono questi corsi – come Udacity e Coursera, società commerciali nate a opera di docenti dalla Stanford University, ed edX, piattaforma no profit guidata congiuntamente dal Massachusetts Institute of Technology e dalla Harvard University – affermano esplicitamente di voler abbattere le barriere sociali e geografiche che impediscono l'accesso all'istruzione avanzata.

Daphne Koller, tra i fondatori di Coursera, ha presentato nel giugno dello scorso anno i suoi rivoluzionari obiettivi in una conferenza TED che ha avuto oltre un milione di visualizzazioni. I MOOC, ha annunciato Koller a un pubblico entusiasta, dovrebbero «fare dell'istruzione un diritto

Un potenziale di apprendimento. Emmanuel Ngoga (*sopra*) e Soubirous Umutoni (*al centro*) sono iscritti all'università; Pascal Uwihoreye ha fatto domanda.

umano inalienabile, uno strumento con cui qualsiasi cittadino del mondo abbastanza abile e motivato possa apprendere le competenze necessarie per migliorare la sua vita, quella dei suoi familiari e dell'intera comunità che lo circonda. Magari il prossimo Albert Einstein o lo Steve Jobs del futuro si nascondono in qualche villaggio sperduto dell'Africa e, se noi riuscissimo a offrire loro un'istruzione, potrebbero avere la nuova grande idea per rendere il mondo migliore».

Impossibile opporsi a un'ideale del genere. Eppure i docenti che lavorano nell'apprendimento on line e a distanza sostengono che gli evangelizzatori dei MOOC tendono a sopravvalutare se stessi e i loro prodotti. L'insegnamento on line, osservano, è cominciato molto prima che arrivassero i MOOC, i quali non sempre usano i metodi migliori e più aggiornati, senza contare che i paesi in via di sviluppo sono quasi del tutto sprovvisti di connessione Internet. Inoltre, per frequentare i MOOC occorrono motivazioni e capacità che hanno solo studenti di primissimo ordine. «Occorrerebbe una soluzione davvero idonea alla realtà del terzo mondo», afferma il canadese Tony Bates, specializzato nell'insegnamento on line. «Sì, in futuro i contenuti saranno gratuiti, ma il tipo di servizio più utile agli studenti è quello fornito dagli istruttori. Come studiare, dove trovare le informazioni necessarie e le analisi critiche, in che modo elaborare idee originali, come costruire un ragionamento di alto livello: tutte queste cose si sviluppano e si rafforzano nel rapporto con gli insegnanti».

Ed è qui che un esperimento come Kepler può rivelarsi cruciale: nella combinazione gratuita di contenuti forniti dai docenti migliori del mondo e da più economici insegnanti sul luogo, che possono offrire un aiuto e uno stimolo personale agli studenti. Il modello è particolarmente adatto a un paese come il Rwanda, dove solo una frazione minima della popolazione è laureata e i giovani diplomati alle superiori sono in aumento. «Da queste parti potresti costruire cinquanta università senza soddisfare la crescente domanda di iscrizioni», puntualizza Hodari. «Qui ci sono persone che non frequentano il college e che, se fossero in America, andrebbero a Princeton».

Negli Stati Uniti le discussioni intorno ai MOOC vertono soprattutto sulla loro capacità di contenere o ridurre i vertiginosi costi di una laurea. Nella sua conferenza TED, Koller ha osservato che negli Stati Uniti, dal 1985 a oggi, le tasse universitarie sono aumentate quasi del doppio rispetto ai costi dell'assistenza sanitaria. A suo parere i MOOC potrebbero offrire la soluzione. Nei paesi in via di sviluppo invece conta soprattutto la qualità. In molte regioni le strutture educative e i livelli d'istruzione sono davvero miseri, e le lauree hanno poco valore sul mercato globale del lavoro. I ruandesi che hanno frequentato i corsi per programmatore informatico, per esempio, hanno scarsa esperienza nell'uso del computer. «È come se chi ha un diploma da maestro di nuoto avesse imparato a nuotare su un libro senza essersi mai tuffato in piscina», commenta Michel Bézy, vicedirettore di un programma di laurea tradizionale presso la Carnegie Mellon University a Kigali.

Questo stato di cose non riguarda solo un piccolo paese come il Rwanda, ma anche grandi potenze emergenti come l'India. Dalle migliori università indiane escono laureati eccellenti, ma negli altri atenei la qualità è bassa. Sono stati offerti, per esempio, molti aiuti ai numerosissimi laureati delle facoltà indiane di ingegneria, ma su 600-800.000 studenti che si laureano ogni anno in questa disciplina, «solo il 10 per cento circa ha una formazione realmente avanzata», denuncia Ashok Jhunjhunwala, docente universitario, fra i massimi esperti indiani in ingegneria elettronica.

Basta con l'insegnamento a tappe forzate

La tecnologia può umanizzare le lezioni

di Salman Kahn

Quando immaginiamo un oggetto virtuale pensiamo subito alla sua controparte fisica: Amazon e le librerie, Wikipedia e le enciclopedie di carta. Si dà per scontato che il virtuale debba sostituire il fisico con qualcosa di più economico, veloce ed efficiente. Nell'istruzione, invece, il virtuale avrà un impatto diverso: l'obiettivo non sarà sostituire le tradizionali lezioni in aula ma piuttosto mescolare il virtuale e il fisico per ridisegnare interamente il sistema educativo.

Oggi in quasi tutte le classi gli studenti stanno seduti, ascoltano e prendono appunti mentre il professore parla. Benché siano presenti da 20 a 300 esseri umani, l'interazione personale è scarsa o nulla. Spesso gli esami sono l'unica occasione in cui il docente può verificare ciò che ha assimilato lo studente. E anche se emergono lacune nella comprensione di qualche concetto di base la classe prosegue la sua marcia in avanti. Gli strumenti virtuali offrono la possibilità di ripensare questa metodologia. Se una lezione è disponibile on line, il tempo in classe può essere usato per la discussione, il lavoro di gruppo o gli approfondimenti guidati del professore.

Sostituendo una lezione con esercitazioni e test adattativi si elimina il modello-fabbrica ereditato dalla Prussia del XIX secolo, dove gli alunni marciano tutti insieme allo stesso ritmo. Qui invece ognuno può procedere secondo i suoi tempi e verificare quanto appreso anche molto tempo dopo la conclusione formale del corso.

Nei prossimi dieci o vent'anni questo insegnamento misto permetterà di separare la formazione dalle credenziali, oggi fornite entrambe dalle stesse istituzioni. In questo modo chi lo desidera potrà dimostrare le proprie competenze sia che le abbia imparate sul lavoro, in una scuola tradizionale, on line o, più probabilmente, in tutti questi modi insieme.

L'effetto più importante di tutto ciò è forse l'impatto qualitativo sulle lezioni e il materiale didattico in generale. In genere sia i docenti sia gli editori di libri di testo tradizionali ignorano l'uso, e persino l'efficacia, dei contenuti che producono. Unendo la ricchezza dell'esperienza diretta agli strumenti on line, invece, insegnanti e creatori di contenuti saranno finalmente aggiornati sull'efficacia delle esperienze da loro veicolate.

L'insegnamento misto migliora il ruolo dei professori. Anziché usare tutto il tempo per fare lezione, interrogare e dare voti, i docenti possono interagire con gli studenti; invece di rafforzare un passivo «zitto e ascolta», possono incoraggiarli a diventare padroni del proprio apprendimento, la competenza forse più importante in assoluto. Nei paesi in via di sviluppo questi strumenti virtuali saranno cruciali per facilitare l'apprendimento degli studenti più motivati. Nei paesi sviluppati il vantaggio sarà di rendere il tempo fisico meno passivo e, diciamolo, più umano.

Salman Khan è fondatore della Khan Academy, organizzazione no profit per l'insegnamento on line di Mountain View, California.

Alcune indagini hanno permesso di individuare le carenze. «Solo il 7 per cento dei laureati in ingegneria informatica soddisfa il livello richiesto dall'industria per la programmazione di base», osserva Varun Aggarwal, cofondatore e direttore operativo di Aspiring Minds, società che conduce accertamenti in proprio sui laureati per conto delle industrie. Da un test standardizzato d'idoneità al lavoro condotto nel 2011 su 55.000 neolaureati indiani in ingegneria, è risultato che un allarmante 42 per cento non sapeva moltiplicare e dividere i numeri con decimali, e oltre un quarto non sapeva l'inglese a sufficienza per seguire un programma universitario d'ingegneria. «È triste, ma è così», sospira Aggarwal. «Tantissimi laureati, ma qualità bassissima».

Il problema è, in parte, la carenza d'insegnanti. «Il corpo docente è mal pagato, non è una carriera allettante», spiega Aggarwal. «Gli ingegneri che non trovano lavoro nell'industria si mettono a insegnare». Un'altra difficoltà è la preparazione pre-universitaria degli studenti: molti arrivano all'università o al college senza sapere bene l'inglese, lingua in cui vengono tenute le lezioni.

Se non cambia qualcosa, la situazione è destinata a peggiorare. Al momento quello indiano è uno dei più grandi sistemi di alta formazione del pianeta, con oltre 600 università e più di 33.000 college che preparano oltre 20 milioni di studenti. Eppure, rispetto agli altri paesi, la percentuale di indiani che proseguono gli studi dopo le scuole secondarie è bassa. A iscriversi all'università sono circa il 17,9 per cento dei diplomati, contro il 26,8 della Cina e il 94,8 degli Stati Uniti. «Per raggiungere il 50 per cento dovrebbero accedere all'alta formazione altri 30-40 milioni di studenti», spiega Anand Sudarshan, ex amministratore delegato di Manipal Global Education, società che gestisce sei università e più di 40 istituti scolastici. «E, allo stato attuale, è piuttosto improbabile. Solo un'istruzione a forte contenuto tecnologico potrebbe offrire all'India la speranza di recuperare terreno, in senso qualitativo e quantitativo».

Una manna dal cielo

Quindi i MOOC potrebbero essere la soluzione a questi problemi, in India e altrove? Per una ristretta minoranza di studenti d'eccellenza, i MOOC sono una manna dal cielo. «Moltissime persone seguono autonomamente i nostri corsi, e ci scrivono per raccontarci come questa esperienza abbia cambiato loro la vita», conferma Koller di Coursera. «Altrimenti, nei paesi in via di sviluppo, molti giovani non avrebbero accesso all'istruzione superiore. Non dimentichiamolo».

Prendiamo il caso di Amol Bhave, diciassettenne indiano di Jabalpur, che a soli 16 anni si è iscritto a un MOOC del Massachusetts Institute of Technology intitolato «Circuiti ed elettronica». Fin da bambino aveva l'abitudine di curiosare fra i libri di ingegneria del padre, e ha imparato il BASIC da solo. Alle superiori ha ottenuto una certificazione Microsoft come programmatore. Ha sempre avuto anche l'hobby dell'elettronica. Durante l'ultimo anno delle superiori ha concluso felicemente il corso del MIT e, quando ha visto che edX non gli offriva il corso successivo, «Segnali e sistemi», ci è rimasto malissimo.

Così, insieme ad altri due studenti incontrati in rete, ha deciso di creare la propria versione MOOC del corso, basata su registrazioni video delle lezioni del MIT, questionari on line e altri elementi interattivi inventati da lui. «Abbiamo creato tutto dal nulla, cominciando da zero», spiega Bhave. Il corso ha avuto un migliaio di iscrizioni. Bhave ha citato questa sua impresa nella domanda che ha inviato al MIT come studente a tempo pieno. «Il 14 marzo sono usciti gli elenchi degli ammessi. Indovina? C'ero anch'io!», esulta il ragazzo. «Io e la mia famiglia siamo così emozionati. È la prima volta che qualcuno delle mie parti va a studiare al MIT».

L'aneddoto può essere letto in due modi. Il primo è che un MOOC erogato dal Massachussets Institute of Technology ha aperto un meraviglioso orizzonte di possibilità a un ragazzo che viene dal profondo dell'India. Il secondo è che i MOOC non si sostituiscono del tutto ai corsi tradizionali: infatti la massima aspirazione di Bhave era andare negli Stati Uniti per frequentare il MIT di persona. I motivi sono ovvi: anzitutto è difficile studiare le scienze esatte senza fare ricerca in laboratorio. Ma, soprattutto, al MIT non puoi laurearti studiando solo on line, e la laurea è indispensabile per fare carriera.

Certo, non sono molti gli indiani con la grinta e l'intraprendenza di Bhave. La fortuna del ragazzo è stata anche di avere alle spalle una famiglia in grado di fornirgli un computer e un accesso a Internet; il padre, ingegnere, ha potuto fargli frequentare le scuole private. In India Internet è sempre più diffusa, ma ha una penetrazione ancora risibile: nel 2011 solo il 10 per cento degli indiani aveva accesso alla rete. In molte zone del paese ancora non

Un'opportunità per l'India

I corsi on line possono attenuare le conseguenze dei tagli di fondi alle università, migliorando la formazione

di Pawan Agarwal

Le tecnologie digitali potrebbero trasformare radicalmente l'istruzione superiore indiana. Un nuovo modello educativo, costruito intorno a una combinazione di corsi on line aperti a tutti, i MOOC, sviluppati localmente oppure offerti dai migliori atenei del mondo, può fornire livelli di formazione prima impossibili.

In India gli iscritti all'università sono numerosissimi, e aumentano di anno in anno. Nel 2012 hanno superato gli Stati Uniti e ora, con 22 milioni di studenti, il nostro paese è secondo solo alla Cina. Ogni giorno si iscrivono all'università 5000 studenti, e si inaugurano dieci nuovi atenei.

Le spese per l'alta formazione in India superano il 3 per cento del prodotto nazionale lordo, e sono fra le più alte del mondo. Eppure le quote di iscrizione sono fra le più basse. Mentre la recente espansione ha ampliato l'accesso agli atenei, ha anche ridotto i fondi disponibili per studente, e aggravato la situazione già difficile delle facoltà. Il risultato è un abbassamento della qualità didattica.

L'India deve continuare a espandere l'accesso all'alta formazione mantenendo alta la qualità e bassi i costi. La situazione non riguarda solo il nostro paese ma, considerate le enormi dimensioni del Subcontinente e la sua posizione, le sfide indiane sono particolarmente impegnative. Le tecnologie digitali, in particolare l'uso estensivo dei MOOC, possono aiutare.

L'India ha già sperimentato classi on line, ma con un impatto marginale. Una decina d'anni fa è stato condotto un primo esperimento di videolezioni e corsi in rete all'interno di un programma finanziato

66 %

La percentuale di presidi e rettori di università statunitensi che giudicano promettenti l'apprendimento adattativo e le tecnologie di autovalutazione

dal governo, il National Program on Technology Enhanced Learning. Gli sviluppatori hanno allestito oltre 900 corsi, soprattutto scientifici e tecnici, di circa 40 ore ciascuno. Tuttavia, a causa del limitato livello di interattività e di una qualità piuttosto discontinua, i corsi non hanno avuto grande successo.

I MOOC hanno mostrato agli accademici indiani che è possibile smontare e rimontare una lezione usando brevi segmenti autonomi, con un efficace livello di interattività e un altro grado di coinvolgimento degli studenti. Gli istituti indiani di tecnologia, considerati fra le scuole d'ingegneria migliori al mondo, prevedono di offrire attraverso i MOOC tre corsi base – tecnologia dell'informazione, programmazione, algoritmi e strutture dati – a centinaia di migliaia di studenti universitari. I corsi daranno crediti formativi che avranno valore ai fini della laurea.

Fortunatamente l'India è piena di giovani che hanno confidenza con la tecnologia. Gli indiani sono fra i più agguerriti fruitori dei MOOC. Sui 2 milioni e 900.000 utenti registrati su Coursera al marzo scorso, oltre 250.000 venivano dall'India, seconda solo agli Stati Uniti.

Dobbiamo ancora trovare il modello di MOOC più conforme al contesto indiano. Ma dopo dieci anni di esperienza sul campo, e un vivace ecosistema tecnologico alle spalle, l'India non tarderà a trovare la strada giusta.

Pawan Agarwal è consulente per l'istruzione superiore della Commissione del governo indiano per la pianificazione. Le opinioni espresse sono personali e non riflettono quelle ufficiali.

arriva l'energia elettrica, e il reddito medio pro capite non raggiunge i 1500 dollari all'anno. Per centinaia di milioni di indiani, il computer è un lusso inimmaginabile.

Eppure la tecnologia si sta diffondendo, e a costi sempre più contenuti. Persino un paese senza sbocchi sul mare come il Rwanda è attraversato dai cavi della fibra ottica, e quest'anno il cablaggio si estenderà ulteriormente. I prezzi dei computer sono sempre più abbordabili: su richiesta ufficiale del governo indiano, l'azienda britannica Datawind ha prodotto un tablet Android di base che costa 40 dollari e 11 centesimi, e che il governo indiano fornisce agli studenti quasi alla metà del prezzo. L'Aakash 2 non è al livello dei migliori tablet sul mercato, ma a un costo del genere è già rivoluzionario. Quest'anno Datawind ha intenzione di spedirne in India un milione di pezzi. «Quando ho avuto quel dispositivo fra le mani ho pensato che avrebbe cambiato il mondo, e il mondo ancora non lo sa», dice Andrew Ng, fondatore del Coursera insieme a Koller.

Anche i MOOC si stanno evolvendo. Michael Horn, fondatore con Clayton Christensen dell'Institute for Disruptive Innovation, un gruppo di esperti decisi a rinnovare il mondo dell'istruzione e dell'assistenza sanitaria, paragonano gli odierni MOOC alle pellicole cinematografiche di un tempo. «I primi film erano riprese teatrali; avevano un'aria insulsa e ridicola», osserva. «E anche i MOOC sono fondamentalmente riprese teatrali. Filmiamo le lezioni e poi le montiamo». Questa è forse una delle ragioni per cui a concludere effettivamente i corsi è meno del 10 per cento degli iscritti. Secondo Horn bisogna rendere le lezioni on line molto più coinvolgenti. L'idea è di produrre corsi interattivi in grado non solo di istruire gli studenti ma di imparare da loro: corsi personalizzabili commisurati alle competenze e ai bisogni di ciascuno.

Alcuni docenti aspirano addirittura a una netta separazione fra didattica e assegnazione dei crediti: uno studente che, dopo avere seguito i MOOC, superando un test ottiene una certificazione di alto livello basata sulle competenze, può essere più competitivo sul mercato del lavoro di chi esce da un ateneo tradizionale.

Ma per ora siamo solo nel campo delle ipotesi. Per il momento gli studenti non vedono sempre grandi benefici nei MOOC: i giovani, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, devono avere la certezza che l'istruzione ottenuta porterà loro occupazione e stipendio. «Gli studenti devono percepire una chiara linea di continuità tra la frequentazione di un corso, il conseguimento di un certificato e l'accettazione del certificato da parte delle aziende», spiega Aggarwal. «I corsi devono corrispondere alle esigenze dell'industria. Se si crea questo circolo virtuoso, ed è chiaro allo studente, i MOOC potranno espandersi».

I fornitori di questa tipologia di corsi prevedono di offrire credenziali valide per i college e le aziende, ma il progetto è ancora agli inizi. L'importante, intanto, è offrire la garanzia che a passare gli esami siano proprio gli studenti registrati. Un metodo anticopiatura consiste nel chiedere ai candidati di recarsi fisicamente presso un centro di riconoscimento; altri stratagemmi fanno appello alla tecnologia. «Abbiamo un sistema, chiamato Signature Track, dove all'inizio chiediamo allo studente una foto identificativa e poi, mentre esegue il compito, lo invitiamo a scattare una foto e registrare un campione della propria "calligrafia digitale", una sorta di impronta digitale della propria scrittura sulla tastiera», spiega Ng. «Il modo di digitare cambia da individuo a individuo. È difficile che qualcuno riesca a farlo come me o io come qualcun altro». Si tratta di un sistema di riconoscimento biometrico basato sullo stile di battitura.

Fonte dati: *The 2013 Inside Higher Ed Survey of College and University Presidents*, di Inside Higher Ed e Gallup. Inside Higher Ed, 2013

Il segreto è la sperimentazione

Il futuro della formazione universitaria sta nella giusta combinazione fra strumenti tradizionali e digitali

di Robert A. Lue

Oltre dieci anni fa, quando ho tenuto il mio primo corso on line, ero un eccezione nel mio dipartimento. A spingermi era il bisogno di condividere alcune informazioni sulla biologia dell'HIV, nel generale intento di combattere gli innumerevoli luoghi comuni che circondavano l'AIDS a quel tempo. Il corso si basava sulle riprese video di lezioni tenute in aula, trasmesse in tutto il mondo come parte dei nostri programmi di formazione per adulti.

Oggi la situazione è completamente diversa. Nel maggio 2012 la Harvard University e il Massachusetts Institute of Technology hanno annunciato un accordo per la creazione di edX, piattaforma destinata ad ampliare l'accesso all'alta formazione tramite cicli di lezioni on line e, contemporaneamente, trasformare la didattica nelle rispettive istituzioni. L'interesse degli atenei per i corsi on line è cresciuto, e sempre più si discute della possibilità di una loro ampia distribuzione in rete.

I corsi on line non servono soltanto a condividere materiali didattici, ma anche a sviluppare nuove modalità di insegnamento sia per un pubblico generico sia per gli studenti universitari. Molti miei colleghi qui a Cambridge, Massachusetts, già utilizzano strumenti digitali per trasformare l'esperienza degli studenti. I tutorial e le valutazioni interattive sviluppati per il corso introduttivo in *computer science* di David Malan integrano pefettamente le sue lezioni ad Harvard e i partecipanti ne sono pienamente soddisfatti. Il software che Malan ha progettato per offrire a ogni studente un riscontro istantaneo sulla qualità del proprio percorso è utile tanto agli studenti degli

Coursera ha invece stretto un accordo con ProctorU, che controlla gli esami attraverso una telecamera. Si registra l'account e si prenota il giorno del test. Dopo essersi accertato che sulla scrivania non ci siano fogli, libri o tablet, un professore scruta lo studente via webcam per tutta la durata dell'esame. Oltre oceano il sistema è un po' più complicato da applicare, ma funziona. Talvolta è anche necessario compilare un formulario basato su informazioni raccolte tramite i database pubblici, rispondendo a domande riguardanti esperienze personali.

Chi fornisce i MOOC, inoltre, vede nell'offerta di credenziali un modo per monetizzare i propri servizi. Su Coursera, per esempio, le lezioni individuali sono gratuite, ma i crediti no. Se uno studente opta per una lezione «Signature Track» della Duke University, per poco meno di 100 dollari ottiene, dopo avere completato il corso e superato gli esami, un «attestato di frequenza» siglato con il logo della Duke. Per quanto riguarda il riconoscimento dei corsi, l'American Council on Education ha analizzato e deciso di «raccomandare» cinque corsi Coursera, i cui crediti vengono quindi accettati da diversi atenei tradizionali. Il costo varia dai 100 ai 190 dollari. Per chi non può affrontare la spesa, Coursera mette a disposizione un aiuto finanziario.

Ma nelle regioni del mondo ancora prive di acqua potabile e dove le misure sanitarie sono tuttora quasi inesistenti queste soluzioni altamente tecnologiche appaiono improponibili. In India la sperimentazione dei MOOC è, per ora, volta a migliorare la qualità didattica all'interno delle istituzioni esistenti. Il settore ricerca della Microsoft sta lavorando a un progetto pilota chiamato MEC (Massively Empowered Classrooms), orientato allo sviluppo di lezioni on line simili a quelle dei MOOC, impartite da prestigiosi docenti di nazionalità indiana che sono stati invitati ad adattare i corsi che già tengono nelle facoltà d'ingegneria indiane. «La risposta non è uguale per tutti», afferma Jhunjhunwala, spiegando che per gran parte degli studenti indiani, a causa della lingua e della cultura, risulterebbe problematico comprendere i corsi on line erogati dagli atenei statunitensi. Lui stesso ricorda le difficoltà incontrate nel seguire un corso di chimica al college per colpa del forte accento del professore. «Importare semplicemente qualcosa da fuori è un sistema che non funziona», conclude. «Non ha mai funzionato».

I fautori dei MOOC ribattono però che le lezioni on line sono come libri di testo in forma digitale, e i buoni libri di testo finiscono per essere adottati in tutto il mondo. I corsi possono essere progettati per un'ampia varietà di utenti. Gli europei stanno sviluppando le proprie specifiche piattaforme MOOC, e i grandi fornitori statunitensi di questi corsi stanno convincendo gli atenei stranieri a offrire lezioni in lingue diverse dall'inglese. «L'istruzione on line è ancora ai primi passi», commenta Bhave, con il tipico entusiasmo di un ragazzo. Ma di certo ha tutti i numeri per cambiare il volto del terzo mondo. E, sulla base della propria esperienza, aggiunge: «Nei prossimi anni ci aspetta una rivoluzione educativa».

Una grande scommessa

Ma al progetto Kepler non intendono aspettare. Per loro il modello è uno solo: offrire on line l'istruzione migliore con gli insegnanti migliori, integrata da un significativo supporto sul campo e un soddisfacente livello d'interazione in classe. «L'idea di sganciare semplicemente i MOOC sulla testa degli africani o di altre

Non sempre gli studenti vedono un beneficio tangibile nei MOOC: i giovani dei paesi in via di sviluppo devono potere contare sul fatto che una certa formazione porterà a un posto di lavoro e uno stipendio

atenei tradizionali quanto a quelli on line. Francis Cook e Marcello Pagano, della Harvard School of Public Health, hanno sviluppato un nuovo corso on line in biostatistica ed epidemiologia che sarà utilizzato quest'anno come base per una cosiddetta «classe al contrario», in cui gli studenti guardano on line le lezioni o altri materiali del corso, per poi discuterne attivamente in aula con docenti e compagni.

La rapida evoluzione di risorse digitali come le videolezioni, i multimedia interattivi e i nuovi metodi di valutazione on line inducono a riflettere su ciò che potremmo e dovremmo fare quando siamo faccia a faccia con i nostri studenti.

Ogni volta che sviluppo un corso on line, per esempio sul metabolismo cellulare, penso che combinando animazioni al computer e metodi di valutazione «a ritmo autogestito» riesco a comunicare le complicazioni del trasferimento di elettroni più efficacemente che nella mia lezione tradizionale. Quando calibro le esercitazioni in modo da includervi testi sia di lettura sia elettronici senza alterare il carico di lavoro mi rimane il tempo per discutere in aula con i miei allievi o analizzare criticamente le conseguenze metaboliche dell'interruzione sperimentale del trasferimento di elettroni. In altre parole, riesco a concentrarmi meglio sui concetti più ostici per loro. Sotto questo aspetto, le classi al rovescio, dove lo studente non ascolta le lezioni a scuola ma a casa, possono migliorare l'attenzione e innalzare il rendimento.

Dietro a questo impegno entusiasmante c'è la consapevolezza della grande importanza della sperimentazione, anche se ancora ignoriamo come sfruttare al meglio l'immenso potenziale della rivoluzione on line. Ecco perché, in ogni corso o modulo di HarvardX – l'iniziativa didattica ampiamente digitale della Harvard University, che include una partecipazione in edX – c'è una componente di ricerca. Misuriamo i progressi dello studente in relazione a vari parametri, fra cui le sequenze di materiali del corso, il supporto con cui vengono forniti (se come lezione o con un'animazione video), gli strumenti di valutazione usati dal docente (interattivi o meno) e altro. Da questi studi, associati a ogni corso on line, nasceranno i miglioramenti pedagogici da introdurre sia on line sia in sede universitaria.

Gli istituti di formazione superiore devono svolgere questo tipo di ricerche se vogliono sviluppare nuovi modelli capaci di ampliare l'accesso ai contenuti didattici di alto profilo; nel frattempo devono anche sostenere e incrementare le strutture «in presenza», che sostengono l'impresa congiunta fra ricerca, apprendimento e insegnamento.

Robert A. Lue è Richard L.Menschel Director del Derek Bok Center for Teaching and Learning della Harvard University, preside di Facoltà di HarvardX e docente presso il Dipartimento di biologia molecolare e cellulare della Harvard University

425 milioni di dollari

Il denaro investito nel 2012 dai *venture capitalists* in tecnologie innovative per le scuole primarie e secondarie

Fonte dati: *The NMC Horizon Report: 2013 K–12 Edition*, di L. Johnson, S. Adams Becker, M. Cummins, V. Estrada, A. Freeman e H. Ludgate, The New Media Consortium, 2013

popolazioni, senza agevolazioni e senza assistenza, è un'idea fallimentare in partenza», si lamenta Hodari. «Moltissimi studenti non hanno mai imparato a usare il computer. Non sanno fare le cose più semplici: lanciare un programma, chiuderlo, non sanno neppure digitare su una tastiera».

La prima docente a unirsi a Kepler è stata Christine Yarng, ex insegnante in una scuola della rete KIPP (Knowledge Is Power Program) ad Austin, in Texas. Emma Stellman, cofondatrice di un'importante *charter school* di Cambridge, nel Massachusetts, sta disegnando il programma. Entrambe lavorano per salari no profit in un remoto angolo del globo, perché sono convinte che un'istruzione di qualità possa trasformare radicalmente la vita delle persone, e perché hanno sete di sfide e avventura. Stellman prevede di usare segmenti di vari corsi MOOC e combinarli insieme per adattarli agli studenti ruandesi. All'inizio si porrà l'accento soprattutto sulla necessità di imparare in che modo si impara, essenziale soprattutto in un contesto digitale, poi si passerà all'analisi quantitativa e al pensiero critico. «Le aziende sono a caccia di persone che sappiano pensare con la propria testa», spiega Stellman. «E gli studenti sono fieri di riuscire a elaborare idee personali. Vedere quelle lampadine che si accendono è un fenomeno bellissimo, una grande carica».

Lo scopo del corso pilota di Kepler era identificare eventuali problemi e trovare le soluzioni prima che partisse il programma autunnale vero e proprio. Già alla quinta settimana Yarng e Stellman hanno imparato diverse lezioni importanti. Anzitutto che occorreva un migliore accesso a Internet, e hanno quindi pianificato di trasferirsi in nuovi uffici connessi alla rete ruandese della fibra ottica. Poi hanno capito che molti studenti avevano bisogno di migliorare l'inglese per poter seguire le lezioni on line e studiare i materiali più complessi. (Negli ultimi anni il Rwanda è passato dal francese all'inglese come lingua primaria dell'istruzione scolastica.) Il programma di Kepler prevede infatti corsi intensivi di inglese, da tenersi nella fase di orientamento che ha preceduto la sessione autunnale, e l'assegnazione di compiti scritti in inglese durante il corso regolare. «E quando avremo finito di scrivere - insiste Stellman – scriveremo ancora».

L'ideale, secondo Hodari, sarebbe estendere il modello di Kepler a tutto il Rwanda, e poi esportarlo in altri paesi. Dipende da come andranno i prossimi due anni. «È un progetto pilota», puntualizza. «Per ora l'importante è la sperimentazione. Si parla tanto di voler cambiare il mondo, ma pochi cercano di farlo veramente. Noi nei prossimi due anni intendiamo verificare l'efficacia del modello, per identificare i metodi pedagogici più efficaci con gli studenti». Hodari vuole soprattutto assicurarsi che l'esperimento Kepler abbia successo, se non altro perché cinquanta speranzosi cittadini ruandesi non hanno altre alternative.

Jeffrey Bartholet è corrispondente estero di «Newsweek», di cui è stato caporedattore a Washington.

TECNOLOGIA ADATTIVA

Imparare con le macchine

Scuole e università statunitensi usano sempre più le tecnologie che adattano i contenuti didattici alle capacità dello studente, liberando gli insegnanti dall'impegno delle lezioni. Ma funzionano veramente?

di Seth Fletcher

Quando l'autunno scorso Arnecia Hawkins si è iscritta alla Arizona State University, non sapeva di rientrare nel gruppo di controllo di una sperimentazione sul rinnovamento dell'istruzione superiore statunitense. Eppure verso la fine del semestre primaverile si è trovata a imparare la matematica da una macchina. In un attrezzato laboratorio informatico del *campus* di Tempe, nel deserto dell'Arizona, lei e una studentessa del secondo anno di nome Jessica si esercitavano con calcoli di matematica finanziaria. Tramite il menu rapido di un apposito software potevano cliccare e spostarsi a piacere fra lezioni video, sezioni digitalizzate di libri di testo, questionari e problemi pratici. Mentre le due ragazze lavoravano, le loro risposte, insieme alle miriadi di dati relativi al modo in cui vi arrivavano, erano trasmesse ad alcuni server. Speciali algoritmi predittivi sviluppati da un gruppo di scienziati esperti in analisi complesse dei dati, confrontavano le loro statistiche con le informazioni raccolte su decine di migliaia di altri studenti, cercando indizi su che cosa, per esempio, stava imparando Arnecia o che cosa la metteva in difficoltà o, ancora, che cosa avrebbe imparato in seguito e come l'avrebbe imparato.

Per Arnecia avere un computer come insegnante era una novità. «Sarò sincera: all'inizio mi sentivo infastidita», commenta. Anche per il suo professore era un'esperienza nuova. Il matematico David Heckman, abituato a fare lezione in classe, era diventato una «guida itinerante», rispondendo qua e là alle mani alzate degli studenti disorientati. Presto, però, entrambi hanno cominciato a vedere i vantaggi della situazione. Ad Arnecia piaceva la possibilità di decidere da sola gli orari di studio e lavorare quando voleva, dal proprio portatile o dal computer del laboratorio. A Heckman il programma permetteva di seguire più da vicino i progressi degli allievi. Poteva aprire un menù che lo informava nei minimi dettagli sull'andamento di ogni studente: non solo chi era in regola con lo studio e chi no, ma anche su quale concetto specifico stava lavorando. Heckman preferisce le lezioni tradizionali, ma si sta abituando. Uno dei vantaggi del programma è che svolge gran parte del lavoro di valutazione.

Alla fine del semestre, se tutto andrà bene, Arnecia seguirà l'ultima lezione di matematica del college della sua vita. Ripenserà a questa tipologia di corso *data-driven*, ovvero guidata dall'analisi e dalla gestione dei dati relativi agli studenti, per ora così nuovo e controverso, come la «normale» esperienza universitaria. «Abbiamo anche lezioni regolari di matematica qui?», chiede.

Illustrazione di Kyle Bean; Mitch Payne (*foto*)

A B C D

I *big data* conquistano la didattica

La decisione dell'Arizona State University di passare all'apprendimento informatizzato è, almeno in parte, nata dalla necessità. Con oltre 70.000 studenti, l'Arizona State è la più grande università pubblica degli Stati Uniti. Come altre istituzioni statunitensi di ogni grado di istruzione, sta per affrontare trasformazioni profonde. Negli ultimi cinque anni ha perso la metà dei fondi statali; intanto le iscrizioni aumentano, con un allarmante numero di studenti che si presentano al campus senza la preparazione necessaria. «C'è una marea di persone che cerchiamo di istruire e che non abbiamo istruito prima», spiega Al Boggess, direttore del Dipartimento di matematica dell'Arizona State University. «I politici ci dicono: formateli. Fateli recuperare, trovate il modo. In quattro anni li vogliamo laureati. Anche se i finanziamenti diminuiscono».

Due anni fa gli amministratori dell'ateneo hanno iniziato a cercare modi più efficaci per far raggiungere agli studenti i requisiti di una formazione generale di base, soprattutto in discipline come la matematica, che inducevano eccessivi abbandoni. Qualche mese dopo un colloquio di lavoro con Jose Ferreira, amministratore delegato e fondatore di Knewton, *start-up* newyorkese specializzata nell'apprendimento personalizzato, l'Arizona State ha preso un'importante decisione. In quell'autunno, quasi senza preavviso, ha inserito 4700 studenti in corsi di matematica informatizzati. L'anno scorso una cinquantina di docenti hanno seguito 7600 allievi dell'ateneo servendosi di tre corsi introduttivi di matematica basati sul software di Knewton, e si prevede di adattare altri sei corsi entro l'autunno 2014, reclutando nelle fila dell'apprendimento adattivo qualcosa come 19.000 studenti l'anno. (A maggio Knewton ha annunciato un accordo con Macmillan Education, consociata di «Scientific American» .)

L'Arizona State è stata la prima e più agguerrita seguace dell'apprendimento personalizzato e data-driven. Anche altre istituzioni si sono impegnate a perseguire scelte analoghe per far fronte all'aumento di iscrizioni, al calo delle disponibilità economiche e ai requisiti sempre più rigidi della formazione. In 45 Stati, le scuole pubbliche primarie e secondarie si stanno affrettando ad adottare nuovi standard delle discipline matematiche e umanistiche di lingua inglese: l'iniziativa è nota come Common Core State Standards e, per applicarla, occorrono nuovi materiali didattici e nuovi test. Circa la metà dei test saranno *on line* e adattivi, le domande formulate dal computer saranno tagliate sulle capacità di ogni studente, calcolandone il punteggio (*si veda l'articolo a p. 98*).

Il sistema scolastico si sta misurando con una vasta serie di programmi adattivi, dalle lezioni di matematica e di lettura per le elementari alla «macchina dei quiz» che aiuta gli studenti delle superiori a preparare gli esami degli Advanced Placement [gli Advanced Placement sono corsi di livello universitario che gli studenti delle scuole superiori possono seguire per avere anche dei vantaggi da un eventuale accesso successivo al college, N.d.r.]. Questo tipo di tecnologia si sta diffondendo anche fuori degli Stati Uniti. L'edizione 2015 del test del programma per la valutazione internazionale delle competenze degli studenti (PISA), promosso ogni tre anni in oltre 70 nazioni dall'Organisation for Economic Cooperation and Development (OCSE) e che riguarda i quindicenni, includerà componenti adattive per valutare competenze difficilmente misurabili, come per esempio il livello di collaboratività nella risoluzione dei problemi.

Secondo i fautori dell'apprendimento adattivo, la tecnologia ha finalmente fornito a ogni studente un'istruzione personalizzata dai costi abbordabili, e permetterà di abbandonare il modello-fabbrica che ha dominato l'istruzione occidentale negli ultimi due secoli. Gli scettici invece ritengono che sia proprio l'apprendimento data-driven, non quello tradizionale, a trasformare le scuole in fabbriche: la crescente digitalizzazione, affermano, sarebbe l'ennesimo, inutile inganno volto a far guadagnare le aziende che, nel nome della «riforma», spingono i propri prodotti presso insegnanti e studenti. I compiti più o meno «avanzati» che effettuerebbero i computer, individuare i punti forti e deboli dello studente e adattare di conseguenza metodi e materiali di insegnamento, sono cose che gli insegnanti fanno da secoli. Invece di delegare queste mansioni ai computer, concludono i critici, dovremmo spendere di più per formare, retribuire e tenerci i bravi insegnanti.

Adattarsi o morire

Ecco un campione delle oltre 70 società che cercano di dominare il mercato dell'apprendimento adattivo.

CogBooks

Azienda scozzese specializzata nella progettazione di programmi adattivi per la formazione aziendale (compresi il commercio internazionale, le vendite e la comunicazione), CogBooks ha annunciato l'intenzione di affacciarsi al mercato statunitense dell'alta formazione.

DreamBox Learning

Con sede a Bellevue, Washington, DreamBox crea corsi adattivi on line di matematica, di cui molti allineati con il programma statunitense Common Core State Standards, che possono essere usati nelle scuole elementari.

Knewton

Questa azienda, fondata cinque anni fa e con sede a New York, supporta con i suoi programmi i corsi adattivi di matematica dell'Arizona State University e ha una piattaforma di elaborazione dati su cui i docenti aggiungono i piani delle lezioni, quiz, video e altri materiali.

Area9

Questa piattaforma danese supporta l'applicazione LearnSmart di McGraw-Hill, che offre una formazione personalizzata agli studenti delle superiori, a quelli del college e ai professionisti.

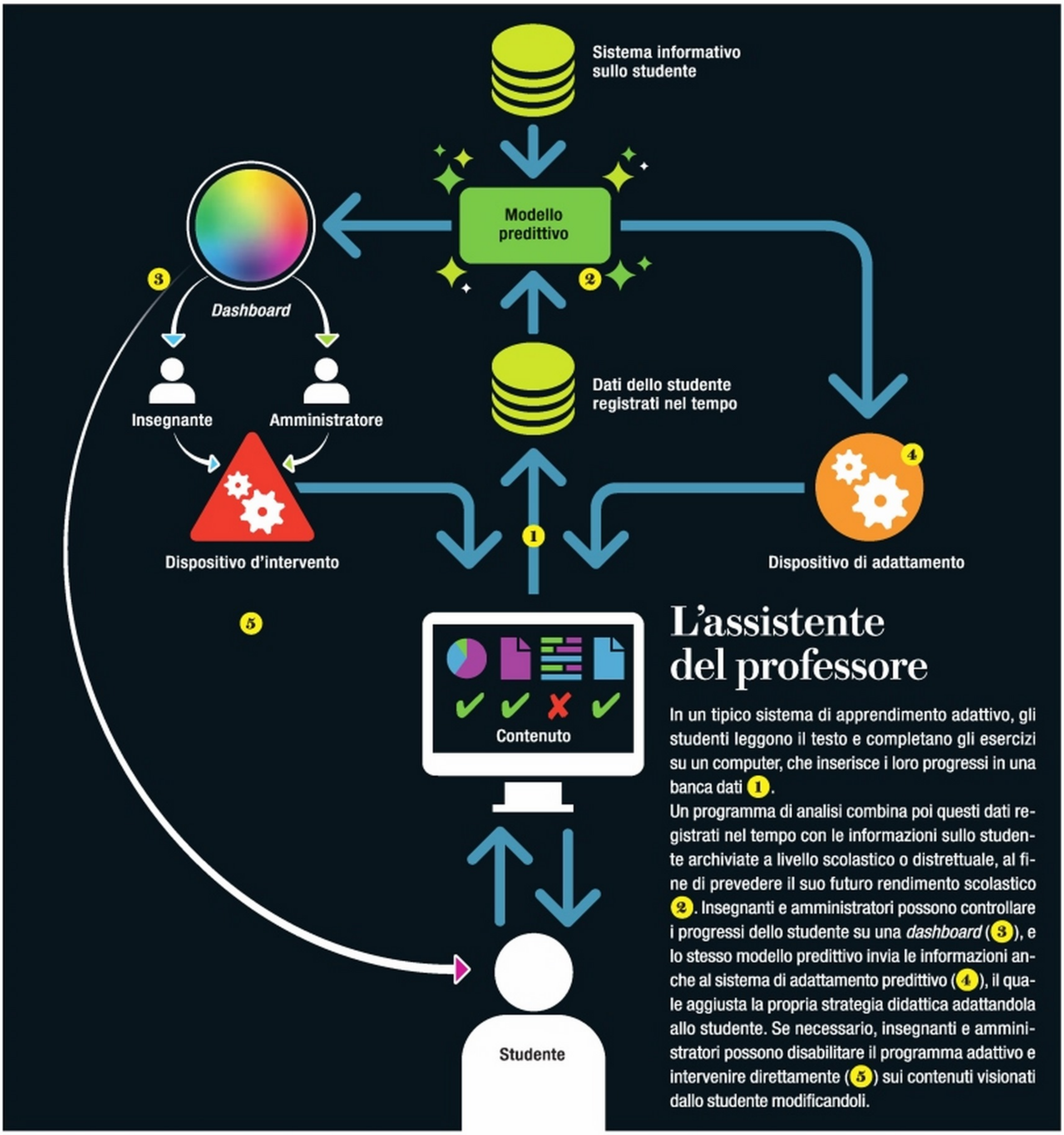
PrepU

PrepU (che fa parte di Macmillan New Ventures, consociata di «Scientific American») ha sviluppato una «macchina dei quiz» destinata, fra gli altri, agli studenti delle scuole superiori che preparano gli esami Advanced Placement, agli studenti di biologia del college e a quelli di scienze infermieristiche.

80 %

La percentuale di applicazioni per l'istruzione destinate ai bambini. Quest'anno sono state al secondo posto fra le applicazioni più scaricate con iTunes, superando quelle per l'intrattenimento

Fonte: *The NMC Horizon Report: 2013 K–12 Edition*, di L. Johnson, S. Adams Becker, M. Cummins, V. Estrada, A. Freeman e H. Ludgate, The New Media Consortium, 2013.



L'assistente del professore

In un tipico sistema di apprendimento adattivo, gli studenti leggono il testo e completano gli esercizi su un computer, che inserisce i loro progressi in una banca dati (1).

Un programma di analisi combina poi questi dati registrati nel tempo con le informazioni sullo studente archiviate a livello scolastico o distrettuale, al fine di prevedere il suo futuro rendimento scolastico (2). Insegnanti e amministratori possono controllare i progressi dello studente su una *dashboard* (3), e lo stesso modello predittivo invia le informazioni anche al sistema di adattamento predittivo (4), il quale aggiusta la propria strategia didattica adattandola allo studente. Se necessario, insegnanti e amministratori possono disabilitare il programma adattivo e intervenire direttamente (5) sui contenuti visionati dallo studente modificandoli.

Fonte: *Enhancing Teaching and Learning Through Educational Data Mining and Learning Analytics: An Issue Brief*, dello U.S. Department of Education, Office of Educational Technology, ottobre 2012.

E se da una parte i fautori dell'apprendimento adattivo affermano di avere a cuore solo il futuro dei bambini statunitensi, dall'altra non negano il potenziale economico del loro prodotto. A decine cercano di entrare nel fiorente mercato delle tecnologie legate all'istruzione, un'industria ormai multimiliardaria (*si veda il box nella pagina a fronte*). Dalla scuola materna al liceo - illustra Adam Newman, tra i soci fondatori di Education Growth Advisors, azienda specializzata in analisi di mercato - circa il 20 per cento dei contenuti didattici è ormai fornito in formato digitale.

Pur rappresentando solo una piccola parte degli affari legati alla formazione, circa 50 milioni di dollari per quello dalla materna al liceo, il mercato dell'apprendimento adattivo potrebbe crescere rapidamente. «Il concetto di adattività ha più a che fare con l'istruzione scolastica che con la formazione universitaria», precisa Newman. «Nelle scuole, infatti, l'insegnamento è differenziato a seconda dell'età. E differenziare l'insegnamento, anche senza tecnologie, è una forma di adattamento».

Anche i responsabili dell'alta formazione cominciano a entusiasmarsi. Secondo un recente sondaggio di Inside Higher Ed/Gallup, il 66 per cento dei presidenti dei college statunitensi ha definito «promettenti» l'apprendimento adattivo e le nuove tecnologie di valutazione. La Bill&Melinda Gates Foundation ha lanciato il programma Adaptive Learning Market Acceleration, mettendo a disposizione dieci fondi da 100.000 dollari per finanziare college e

Promesse e pericoli

La tecnologia può ispirare la creatività o disumanizzare l'apprendimento

di Diane Ravitch

La tecnologia sta trasformando l'istruzione statunitense, nel bene e nel male. Il bene viene dai modi ingegnosi in cui gli insegnanti incoraggiano i propri studenti a intraprendere ricerche scientifiche, imparare la storia osservando direttamente gli eventi e approfondire le proprie idee su Internet. Ci sono letteralmente migliaia di insegnanti che, abili navigatori, discutono regolarmente in rete come incrementare il coinvolgimento degli studenti in classe.

Il male arriva in forme insidiose.

Una delle manifestazioni più pericolose della nuova tecnologia sono le scuole private paritarie, a volte chiamate accademie virtuali. Queste scuole, che vanno dalle materne alle superiori e reclutano una grande quantità di iscritti grazie alla pubblicità pagata con milioni di dollari dei contribuenti, di solito raccolgono la retta statale per ogni studente, che viene quindi distolta dal budget per la scuola pubblica locale. Questi istituti sostengono di offrire un'istruzione personalizzata e a misura di ciascuno, ma sono solo parole. Hanno una percentuale elevata di abbandoni, scarsi punteggi ai test e pochi diplomati. Ma fino a quando continueranno ad adescare nuovi studenti le scuole virtuali saranno molto redditizie, per i proprietari quanto per gli investitori.

Un altro discutibile uso di questa tecnologia riguarda la valutazione delle prove scritte. Per giudicare le risposte dei test, le principali aziende di formazione on line che effettuano questo tipo di servizio, come Pearson e McGraw-Hill, si servono di programmi. Una macchina è più veloce di un insegnante nell'assegnare i voti, ma non sa distinguere un'asserzione fattuale da un'espressione metaforica. Gli studenti impareranno a scrivere in accordo con le formule apprezzate dalla macchina, a spese del rigore, del-

università che negli Stati Uniti svilupperanno corsi adattivi in grado di accogliere almeno 500 iscritti nell'arco di tre semestri. «Credo che a lungo termine, diciamo entro vent'anni, ogni corso avrà una sua componente adattiva», prevede Peter Stokes, esperto di formazione digitale alla Northeastern University. «Sarà un bene, perché consentirà di applicare studi empirici e scienze cognitive alla formazione con modalità inedite. Soprattutto nell'alta formazione – conclude Stokes – i docenti formalmente addestrati a insegnare sono pochissimi. Noi facciamo cose, e siamo convinti che funzionino. Ma se le osserviamo scientificamente, capiamo che spesso il nostro modo di fare le cose non ha basi empiriche».

La scienza dell'adattività

In generale il termine «adattivo» si riferisce a un'interfaccia di apprendimento informatizzato che valuta in modo continuo le abitudini di pensiero di uno studente, sulla base delle quali personalizza il materiale per l'alunno. Non stupisce, però, che nascano accanite discussioni su chi possa attribuirsi il titolo della vera adattività. Per alcuni, un esame che nel 2013 semplicemente modifichi la domanda a seconda delle risposte precedenti – un test che si autogestisce in base a una logica binaria – non è considerato del tutto adattivo. L'adattività esige la creazione di un profilo psicometrico per ogni utente, oltre a un continuo aggiustamento dei dati a seconda dei progressi della persona.

Per realizzare un sistema del genere gli sviluppatori dei programmi adattivi devono prima mappare le connessioni fra tutti i concetti che compongono una parte del materiale didattico. Poi, ogni volta che lo studente osserva un video, legge una spiegazione, risolve un problema pratico o risolve un questionario, i dati relativi alle sue prestazioni, all'efficacia dei contenuti e molto altro arrivano a un server. A questo punto speciali algoritmi confrontano i dati dello studente con quelli di migliaia, se non milioni, di altri studenti, fino a quando emergono degli schemi. Potrebbe risultare che le difficoltà incontrate da uno studente riguardo a un determinato concetto siano le stesse di altri con uguale profilo psicometrico. Il programma saprà che cosa occorre per quel tipo di studente e adatterà i materiali di conseguenza. Con miliardi di dati provenienti da milioni di individui questi algoritmi, se potenti ed esperti a sufficienza, dovrebbero essere in grado di formulare qualsiasi tipo di predizione, fino a dirvi che potete imparare meglio gli esponenti se li studiate fra le 9.42 e le 10.03 di mattina.

Gli algoritmi dovrebbero anche essere in grado di prevedere i metodi migliori per ricordare il materiale studiato. Ulrik Juul Christensen, amministratore delegato di Area9 e sviluppatore del programma di analisi dei dati che supporta i prodotti adattivi LearnSmart di McGraw-Hill, sottolinea che la sua società ha sfruttato il concetto di decadimento mnemonico. Attualmente oltre due milioni di studenti usano, per conto proprio o in un corso, il programma adattivo LearnSmart su dozzine di argomenti. Le ricerche che dimostrano che tutti (proprio tutti) ricordano meglio parole o eventi nuovi quando, dopo averli imparati una prima volta, cercano di reimpararli nel momento esatto in cui stanno per dimenticarli. Per mezzo di speciali algoritmi, il programma di Area9 per la didattica è in grado di prevedere la curva del decadimento mnemonico di ogni utente, e può così ricordargli quello che ha imparato la settimana precedente proprio nel momento in cui quella conoscenza sta per abbandonare il suo cervello.

Pochi insegnanti in carne e ossa possono vantare una simile capacità di previsione. Ma secondo Christensen i computer non sostituiranno mai il corpo docente. «Non saremo certo così folli da affidare l'educazione dei nostri bambini soltanto alle macchine», commenta.

la creatività e dell'immaginazione. Quel che è peggio, gli insegnanti non avranno più l'importante incarico di leggere gli scritti dei loro studenti, perdendo quindi informazioni su ciò che pensano e presa sulle loro idee. Il risultato sarà un grande calo nella qualità dell'istruzione. Francamente, credo sia un problema che riguarda le valutazioni on line in generale, perché il lavoro di verifica viene svolto non più dall'insegnante ma da una piattaforma remota; negli ultimi esami nei vari Stati si sono verificati ripetuti guasti ai computer. Inoltre non dovremo attendere a lungo prima che qualche hacker riesca a inserirsi nel sistema informatico per accedere ai test.

L'uso in assoluto più inquietante di questa tecnologia è relativo all'accumulo e all'archiviazione dei dati personali degli studenti della scuola pubblica. La Bill&Melinda Gates Foundation ha messo a disposizione quasi 100 milioni di dollari per la creazione di Shared Learning Collaborative, ora inBloom, in accordo con Wireless Generation (di proprietà di News Corporation di Rupert Murdoch) e Carnegie Corporation. Verranno raccolte informazioni sugli studenti in vari distretti e numerosi Stati, fra cui lo Stato di New York, Georgia, Delaware, Kentucky e Louisiana (alcuni di questi, di fronte alle obiezioni dei genitori, stanno riconsiderando l'iniziativa). I dati saranno memorizzati in una nuvola informatica (o *cloud*), ovvero archivi, programmi, applicazioni e servizi fruibili direttamente on line ovunque ci si trovi, gestita da Amazon. Sulla nuvola ci saranno nome, cognome e indirizzo degli studenti, il loro anno di corso, i punteggi agli esami, la frequenza, l'eventuale stato di disabilità, la partecipazione al programma e molti altri dettagli che gli insegnanti e le scuole non sono autorizzati a comunicare a terzi.

A chi servono tutte queste informazioni personali e perché vengono condivise? I fautori dell'iniziativa assicurano che l'obiettivo è creare prodotti migliori tagliati su misura per ogni singolo studente. Gli scettici sono convinti che le informazioni verranno cedute ai venditori, che le sfrutteranno per commercializzare i propri prodotti presso le famiglie. Nessuno sa se i dati saranno sicuri; c'è sempre qualche ficcanaso che riesce a violare banche dati e nuvole informatiche.

Fino a poco tempo fa la comunicazione di dati personali degli studenti senza il consenso dei genitori era vietata da una legge federale del 1974 nota come FERPA (*Family Educational Rights and Privacy Act*). Ma nel 2011 il Department of Education degli Stati Uniti l'ha modificata, rendendo legale questo progetto di dati personali. L'Electronic Privacy Information Center (EPIC) ha denunciato il Department of Education alla Corte federale per avere indebolito il FERPA, permettendo la comunicazione di dati degli studenti a terzi senza il consenso dei genitori.

La questione, in sostanza, è la seguente: gli insegnanti vedono la tecnologia come uno strumento per stimolare l'apprendimento negli studenti; gli imprenditori come un modo per standardizzare l'insegnamento, sostituire gli insegnanti, fare soldi e commercializzare nuovi prodotti. Chi avrà la meglio?

Diane Ravitch insegna storia dell'istruzione americana alla New York University, dove svolge attività di ricerca. Negli Stati Uniti, il suo ultimo libro The Death and Life of the Great American School System. How Testing and choice Are Undermining Education (Basic Books) *è stato un bestseller nel 2010.*

Resistenze umane

A marzo, Gerald Conti, professore di studi sociali alla Westhill High School di Syracuse, nello Stato di New York, ha pubblicato sulla sua pagina Facebook una pungente lettera di dimissioni che ha subito fatto scalpore. «Sempre a caccia di dollari per riempire le casse federali – scrive – i nostri legislatori ci hanno tradito, svendendo i nostri bambini alla Pearson», il gigante dell'editoria scolastica alleatosi con Knewton per lo sviluppo di nuovi prodotti. «La mia professione è sempre più avvolta in un'atmosfera di sfiducia; gli insegnanti sono diffidati dal preparare e gestire personalmente compiti e verifiche (ora definiti genericamente «valutazioni») o dall'assegnare i voti agli studenti».

Conti considera i *big data*, le miniere di dati in continua espansione che incrociati e analizzati offrono una migliore profilazione degli utenti, l'origine non tanto di un apprendimento personalizzato, quanto di una monocultura dell'educazione: «Scienza, tecnologia, ingegneria e matematica [in inglese indicate con la sigla STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics, N.d.t.] dominano la nostra vita, e la formazione *data-driven*, guidata dall'analisi e dalla gestione dei dati, porta solo a conformismo, controllo e standardizzazione». Secondo Conti il rischio è aderire come zombie al superficiale e generico Common Core Standard [le linee guida che negli Stati Uniti definiscono parametri e obiettivi comuni a livello federale da raggiungere nelle classi primarie e secondarie dei sistemi educativi dei diversi Stati, N.d.t.]

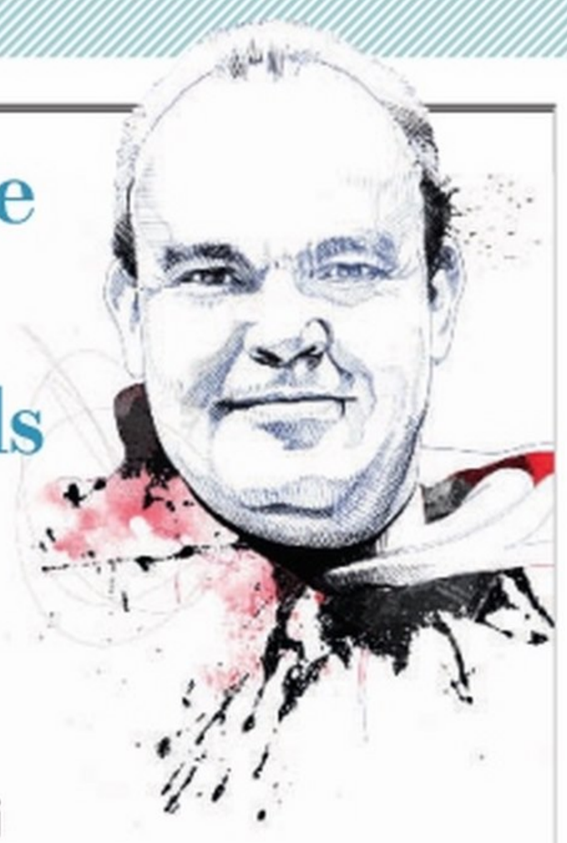
La lettera di Conti è solo un esempio della crescente ostilità che colpisce la riforma educativa tecnologicamente orientata e incentrata sui test. A gennaio gli insegnanti della Garfield High School di Seattle hanno votato per boicottare il MAP test, applicato in distretti scolastici di tutto il paese per valutare i progressi degli alunni. Dopo essersi scontrati con il sovrintendente e il consiglio scolastico del proprio distretto, gli insegnanti hanno proseguito il boicottaggio contagiando rapidamente altre scuole di Seattle. A Chicago e in altre città si sono sollevate proteste di solidarietà fino all'annuncio ufficiale, verso metà maggio, per cui le scuole superiori di Seattle potevano fare a meno del MAP, a patto che lo sostituissero con qualche altro tipo di valutazione.

Se i sostenitori dell'apprendimento guidato dall'analisi e dalla gestione dei dati potessero dimostrare una volta per tutte la superiorità dei loro metodi rispetto a quelli esistenti, non avrebbero difficoltà a far tacere le proteste. Ma non possono, almeno non ancora. La prova empirica della loro efficacia è, come ha scritto Darrell West, sostenitore dell'apprendimento adattivo e fondatore del Center for Technology Innovation della Brooking Institution di Washington, «preliminare e soggettiva». Per valutare accuratamente la validità delle tecnologie di apprendimento adattivo bisognerebbe isolare tutte le variabili: tenere conto cioè delle dimensioni della classe, se è «capovolta» (con i compiti svolti in classe e le lezioni tramite video che lo studente può gestire come vuole), se il materiale viene fornito per mezzo di testi, video, o giochi e così via. Secondo l'Arizona State University il 78 per cento degli studenti che hanno seguito il corso di introduzione alla matematica «rielaborato» da Knewton ha superato l'esame, una percentuale più elevata del precedente 56 per cento. Forse, però, le promozioni sono state favorite non tanto dalla tecnologia quanto dai cambiamenti avvenuti nella politica universitaria: ora infatti agli studenti è permesso ripetere l'esame o distribuire il corso su due semestri senza dover pagare il doppio.

Anche se i fautori della tecnologia adattiva riuscissero a dimostrare una volta per tutte la superiorità del loro metodo, dovrebbero ancora vedersela con la questione della privacy. Per molte persone, a quanto pare, l'insistente raccolta di dati psicometrici risulta

L'istruzione è per gli Angry Birds

Che cosa ci insegnerà il videogioco che crea più dipendenza di tutti



di Peter Vesterbacka

Molti ritengono che imparare sia un lavoro. Le famiglie che si trasferiscono in Finlandia dall'estero hanno spesso la sensazione che i loro figli, a scuola o all'asilo, «non imparino abbastanza». «Non lavorano mai – si lamentano – giocano soltanto». Ma è proprio questo il punto: giocando si impara, e questa filosofia è parte integrante del sistema scolastico finlandese. I miei figli hanno un orario scolastico breve e pochi compiti a casa, eppure gli studenti finlandesi ottengono spesso i punteggi migliori nei test internazionali.

Che cosa insegna realmente il gioco? In Finlandia abbiamo un esempio famosissimo. I ricercatori hanno notato che da noi i ragazzi parlano l'inglese meglio delle ragazze. Alla base di questa constatazione, documentata da numerosi studi, ci sono i giochi elettronici. I maschi giocano di più ai videogiochi. E dato che i giochi sono in inglese apprendono un vocabolario più esteso. Il punto è che i ragazzi non puntano a imparare l'inglese, ma lo imparano divertendosi.

Noi non vogliamo che la nostra sia solo un'azienda che produce giochi, e lavoriamo sempre più di frequente con l'istruzione scolastica. L'anno scorso, con la collaborazione della NASA, abbiamo creato Angry Birds Space, un gioco che insegna ai più piccoli la microgravità, e ora con il CERN stiamo sviluppando giochi e cartoni animati che insegnino ai bambini di 4-6 anni i principi della fisica quantistica. In Angry Birds la fisica c'è già: senza starci a pensare impari le traiettorie. Con il CERN adotteremo lo stesso metodo, ma spingendoci un po' oltre per approfondire in modo divertente matematica, fisica e scienza. Fra poco approderemo alle lingue: per il mercato cinese abbiamo sviluppato un gioco che insegna l'inglese ai cinesi basandosi sulla Festa della Luna, che per loro ha un significato culturale immenso.

Dubito che il futuro dell'istruzione sia tutto nel digitale. Per i bambini è molto importante imparare a fare cose vere, lavorare con oggetti che si possono vedere e toccare. Credo che nell'arco di qualche anno oltre la metà dei nostri prodotti saranno fisici. Abbiamo già una fiorente attività editoriale, libri di racconti e *activity book* basati sui personaggi dei nostri videogiochi, e stiamo progettando una linea di giocattoli educativi. Finora, in generale, non si è fatto molto per combinare il fisico e il virtuale: io penso invece che da lì verranno le innovazioni più importanti. Quest'area riserva grandi opportunità per gli anni a venire.

Peter Vesterbacka è direttore della divisione commerciale di Rovio Entertainment, l'azienda finlandese creatrice di Angry Birds.

snervante. Lo testimonia la reazione negativa a inBloom all'inizio dell'anno. Questa azienda offre un'archiviazione digitale esterna per moltissimi dati che riguardano gli studenti - nome, indirizzo, numero telefonico, frequenza, voti d'esame, informazioni sulla salute – formattati in modo da consentirne l'uso a particolari applicazioni educative. A febbraio, in occasione del lancio, inBloom ha annunciato di avere stretto un accordo con i distretti scolastici di nove Stati federali, suscitando un moto d'indignazione nei genitori. Si è diffuso il timore di una «banca dati nazionale» di ogni possibile informazione sui ragazzi. Gli avversari del progetto sostenevano che i distretti scolastici, tramite inBloom, cedevano dati confidenziali dei loro figli ad aziende decise a lucrarci sopra. Da allora tre Stati su nove si sono ritirati dall'iniziativa.

Potrebbero sembrare reazioni esagerate, ma per la verità i sostenitori dell'istruzione adattiva parlano già della possibilità di generare profili che seguirebbero gli studenti per tutta la carriera scolastica, e anche oltre. Lo scorso autunno la campagna per la riforma del sistema scolastico Digital Learning Now si è pronunciata sulla necessità di creare una sorta di «zainetto-dati» per ogni alunno della scuola materna: trascrizioni elettroniche che ciascun bambino si porterebbe dietro di anno in anno, così da potersi presentare il primo giorno di scuola con «tutte le informazioni possibili sulle sue preferenze, motivazioni, risultati personali e i traguardi raggiunti nel tempo». E quando sarà il momento di fare domanda al college o cercare lavoro, perché non usare come credenziali i punteggi stipati nello zainetto informativo? Qualcosa di simile esiste già in Giappone, dove per un *manager* è normale elencare nel proprio curriculum, per esempio, i punteggi ottenuti studiando l'inglese su iKnow.

Questo non è un test

Non sappiamo se i genitori preoccupati e gli insegnanti indignati siano abbastanza numerosi da fermare l'introduzione del big data nel settore educativo. «In realtà è quanto sta per accadere», afferma Eva Baker, direttore del Center for the Study of Evaluation dell'Università della California a Los Angeles. «E non sarà un evento trascurabile. È impossibile bloccare l'avanzata delle valanghe di dati che servono a profilare gli studenti, considerando soprattutto che costano meno rispetto al costo di un corso d'aggiornamento per insegnanti».

Ciò non significa che i professori siano destinati a scomparire. Né che la scuola sarà sempre più ossessionata dai test. Potrebbe accadere il contrario. Un sistema di valutazione sufficientemente avanzato è indistinguibile dall'istruzione; in una classe totalmente orientata all'apprendimento adattivo, gli studenti saranno esaminati in modo continuo, ogni volta che digiteranno un tasto o azioneranno il mouse alimentando il proprio profilo. Non ci saranno più esami-barriera: al loro posto avremo i calcoli effettuati sui dati di un monitoraggio perpetuo.

Molto prima che tutto questo accada, il ricambio generazionale potrebbe rendere questi metodi informatici, per il momento a noi così estranei, del tutto ordinari, proprio come è successo ad Arnecia e ai suoi compagni della Arizona State University. Anche gli insegnanti potrebbero arrivare alla stessa conclusione. Phil Regier, vice-rettore della Arizona State, lo ritiene abbastanza probabile: «Credo che moltissimi penseranno sia stata una buona mossa. E comunque nel giro di tre anni l'80 per cento degli insegnanti non ci penserà neanche più».

Seth Fletcher è senior editor *di «Scientific American»*

IL FUTURO DEI TEST

Scuole ad alta velocità

Un più ampio accesso alla banda larga migliorerà la diffusione fra professori e studenti degli strumenti digitali di ultima generazione

di Arne Duncan

Di recente ho avuto l'opportunità di visitare il futuro. Era nell'aula di Kristie Ford, a Detroit.

Il giorno che sono stato invitato, la quinta e sesta classe [con bambini di età compresa tra 10 e 12 anni, N.d.r.] erano un brulicare di attività e movimento che Ford non aveva alcun bisogno di indirizzare da vicino. Al contrario, mentre l'insegnante parlava individualmente con qualche alunno gli altri lavoravano da soli, discutendo in piccoli gruppi gli studi fatti sul sistema solare o costruendo modellini tridimensionali distesi sul pavimento. Altri ancora cercavano di imparare giochi o programmi sui computer portatili.

Ma, come mi hanno spiegato Ford e altri insegnanti della Brenda Scott Academy for Theatre Arts, tutto quel movimento non veniva solo dal divertimento, dalle attività interessanti e dalla tecnologia di tendenza. Sotto quell'apparenza superficiale c'era il progetto, sostenuto dalla tecnologia digitale, di adattare l'insegnamento alle esigenze di ogni alunno.

Una volta finita una lezione, nelle classi tradizionali arriva sempre il momento di passare alla lezione successiva senza preoccuparsi che tutti abbiano imparato tutto e nessuno sia rimasto indietro. Nella classe di Detroit, invece, gli alunni procedevano ognuno secondo i propri ritmi, prendendosi tutto il tempo necessario per concludere un argomento e passare ad altro. Ogni bambino seguiva un piano di apprendimento individuale e Ford proponeva materiali estratti da un'ampia varietà di fonti digitali, fra cui case editrici tradizionali, risorse educative gratuite *on line* e molto altro.

La rivoluzione digitale ha cambiato quasi ogni aspetto della nostra vita, dagli acquisti alla comunicazione personale alla ricerca di un partner. Gli istituti scolastici, molti dei quali sono stati lenti nell'accogliere l'innovazione, cominciano a entrare in questa rivoluzione digitale. Per gli studenti della classe di Ford i benefici sono evidenti. Eppure ciò che accade nel suo istituto non è la norma, e il rischio è di favorire solo gli studenti che già godono di questi vantaggi perden-

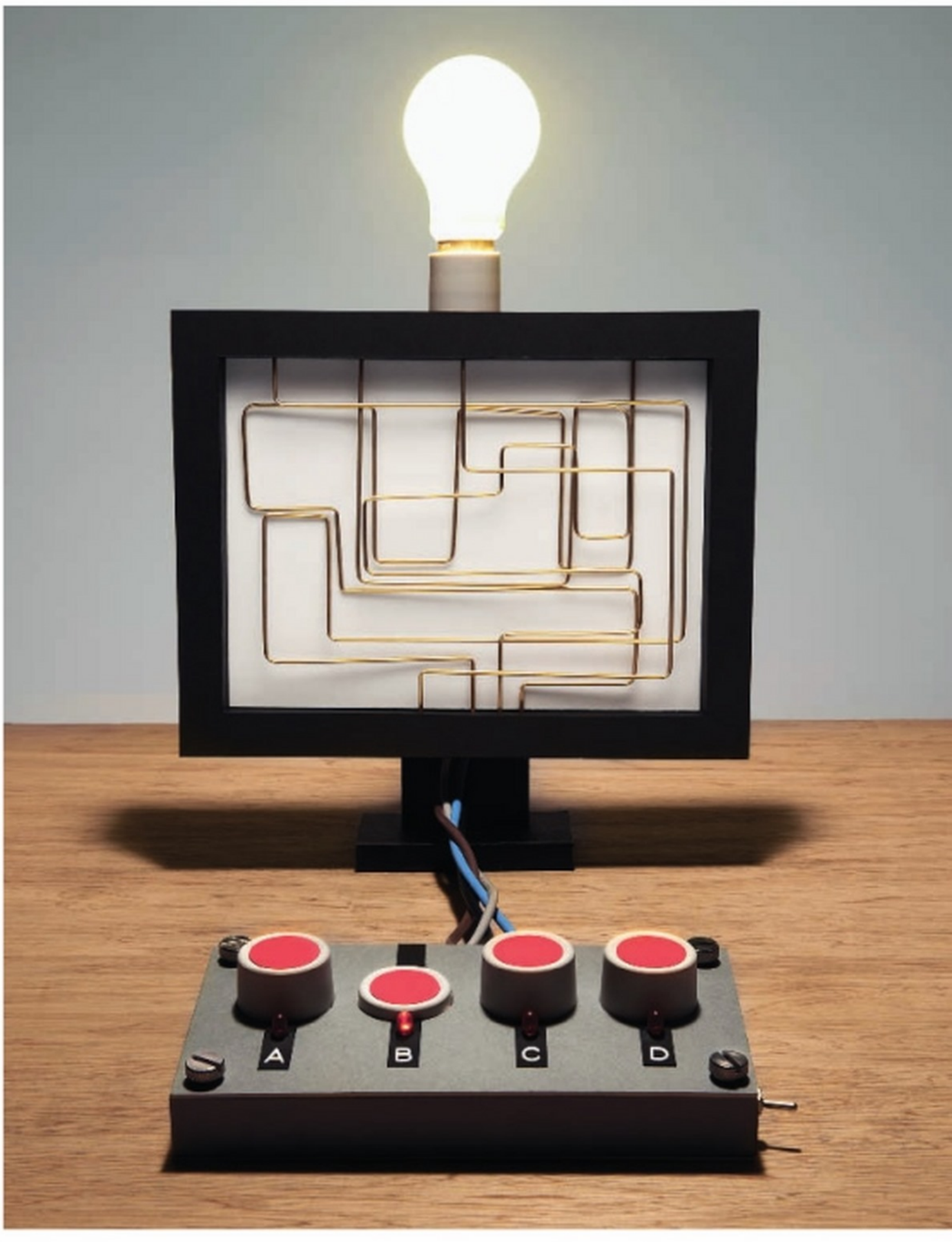


Illustrazione di Kyle Bean; Mitch Payne (*fotografia*)

do l'opportunità, offerta dagli strumenti di apprendimento digitale, di colmare vecchie lacune del sistema scolastico. È per questo che l'Amministrazione Obama ha mosso i primi passi per garantire un equo accesso all'apprendimento digitale, finanziando le innovazioni che favoriscono un apprendimento concepito su misura per ogni singolo studente; aiutando le nuove tecniche di valutazione che fanno parte del più ampio impegno del Governo di elevare gli standard scolastici; e infine con la sfida, lanciata dal presidente, di fornire entro cinque anni a ogni studente l'accesso alla banda larga e il collegamento *wireless* a Internet. È tuttavia necessario che tutti, docenti, sviluppatori e dirigenti lavorino insieme per far sì che gli studenti di ogni scuola possano godere delle stesse opportunità concesse agli studenti di Ford.

Tecnologia e cambiamento

I bambini che oggi frequentano le scuole elementari finiranno il college intorno al 2030, e verso la seconda metà del XXI secolo si troveranno nel pieno della carriera. Sarà un bene per loro trovarsi in un'economia fondata, molto più di quella attuale, sulla conoscenza e sulle tecnologie. Le nostre scuole devono preparare gli studenti a questo futuro, ed è importante che lo facciano nel modo giusto. Le competenze dei nostri figli saranno decisive per la forza economica del paese.

La tecnologia digitale svolgerà una funzione importante nel garantire la loro preparazione. Renderà le pareti della scuola più porose di quanto siano mai state sia per gli insegnanti sia per gli studenti. I primi potranno collegarsi virtualmente con chiunque non solo per condividere i programmi delle lezioni, ma anche per consigliare e condividere on line le strategie didattiche più efficaci. Gli altri, soprattutto quelli geograficamente isolati o che seguono corsi avanzati a numero chiuso, saranno in grado di connettersi con esperti che si trovano magari a chilometri di distanza usando la comunicazione in rete e i video in streaming, e avranno a disposizione risorse didattiche quasi illimitate.

Nel frattempo gli sviluppatori creano utili applicazioni educative per il telefono cellulare, molte progettate in collaborazione con gli insegnanti. Grazie a queste tecnologie è ora possibile mettere insieme l'apprendimento on line e quello classico frontale, offrendo ai docenti la possibilità di raggruppare in modo flessibile gli studenti e di accedere a una grande ricchezza di informazioni relative ai loro progressi.

Siti come quello della Khan Academy hanno portato sui cellulari spiegazioni a richiesta di argomenti vari, dalle addizioni e sottrazioni ai quasar, fino alle collisioni galattiche. Inoltre gli studenti possono accedere sempre più facilmente a simulazioni virtuali che permettono, per esempio, di fare una «passeggiata» virtuale nel cuore di una molecola organica come se fosse l'interno di un palazzo.

La velocità degli studenti nell'adottare le nuove tecnologie è straordinaria. Negli Stati Uniti un terzo degli allievi delle superiori segue corsi on line, e le lezioni universitarie in rete hanno milioni di iscritti.

Tutto questo è entusiasmante, anche se non credo che una sola tecnologia basti a reinventare il sistema scolastico. Istintivamente non credo neppure che possa sostituire gli insegnanti. Il legame fra docente e allievo sarà sempre la scintilla vitale dell'insegnamento, che tuttavia la tecnologia può ravvivare aiutando il corpo insegnante a usare tempo e talento in modi più efficaci, e personalizzando l'esperienza didattica in funzione dei bisogni e interessi dei singoli studenti.

Personalizzare l'apprendimento tramite la tecnologia

Uno degli obiettivi più importanti della futura tecnologia, a cui sta contribuendo anche il Department of Education degli Stati Uniti, è sostenere gli insegnanti nell'adattare l'insegnamento alle esigenze individuali degli studenti. Fra le critiche più perseveranti rivolte al nostro sistema educativo c'è l'idea che nei confronti dei nostri bambini sia sempre stato adottato un approccio a «modello unico», che trascura la combinazione eccezionale di talenti e attitudini caratteristica di ciascuno. Nell'apprendimento personalizzato, la velocità, il metodo e il contesto di acquisizione delle conoscenze vanno personalizzati. Certo, dire a un insegnante che deve preparare la lezione in funzione delle esigenze di ogni allievo è più facile a dirsi che a farsi. Ma la tecnologia può aiutare. Combinando apprendimento on line e apprendimento classico frontale, i docenti possono far lavorare gli studenti secondo i rispettivi ritmi personali, raggrupparli con flessibilità in base alle diverse attitudini e seguire attraverso un flusso dinamico di informazioni l'andamento dell'allievo, potendo così capire dove procede senza problemi e dove invece incontra difficoltà.

Tra non molto i test che gli studenti devono affrontare alla fine dell'anno scolastico saranno on line e miglioreranno la qualità della valutazione. Gli studenti dovranno sviluppare prodotti o esperimenti, verificare ipotesi, analizzare dati; inoltre dovranno sostenere e spiegare i loro ragionamenti

Il Department of Education punta a erogare finanziamenti agli Stati federali e ai sistemi scolastici che intendono diventare modelli di apprendimento personalizzato. Con l'aiuto di un fondo chiamato The Race to the Top–District Competition, ovvero la gara per il miglior distretto, 55 distretti scolastici di 11 Stati federali stanno dimostrando come sia possibile sfruttare la tecnologia per personalizzare l'istruzione e fornire strumenti innovativi a insegnanti e dirigenti scolastici.

Usare la tecnologia per migliorare le valutazioni scolastiche

Altre iniziative federali mirano invece a innovare tecnologicamente la parte della scuola che tutti amano meno: i test. Nel giro di qualche anno, gli esami che gli studenti devono affrontare alla fine di ogni anno scolastico verranno spostati on line, migliorando decisamente la qualità della valutazione. È di cruciale importanza che la preparazione degli studenti venga verificata ogni anno. Senza questo riscontro le scuole non potrebbero individuare i più vulnerabili e aiutarli. Migliorare i test è fondamentale anche alla luce del recente impegno, assunto da quasi tutti gli Stati federali, di stabilire nuovi e più elevati standard accademici, come nell'iniziativa del Common Core Standard [le linee guida che negli Stati Uniti definiscono parametri e obiettivi comuni a livel-

lo federale da raggiungere nelle classi primarie e secondarie dei sistemi educativi dei diversi Stati, N.d.t.]. Il governo sta appoggiando gli sforzi dei singoli Stati erogando oltre 350 milioni di dollari a due consorzi tra Stati incaricati di creare i test per misurare la conformità degli studenti agli standard.

Questo nuovo tipo di valutazioni verificherà con maggiore precisione se gli studenti siano in grado di leggere testi complessi e risolvere problemi pratici; se siano sulla buona strada per conseguire il diploma e se abbiano raggiunto la preparazione necessaria per una buona riuscita al college o nel lavoro.

Uno dei due consorzi sta sviluppando un test adattivo, ovvero un esame in cui la difficoltà delle domande cambia a seconda delle risposte via via fornite. Questa modalità di valutazione consentirà di individuare meglio le effettive capacità dell'allievo.

I nuovi metodi di valutazione vanno però ulteriormente perfezionati. Nei prossimi anni chiunque sia interessato a riformare i modelli educativi dovrà ideare metodi di valutazione ancora più efficaci, per esempio test che richiedano agli studenti di sviluppare prodotti o esperimenti, verificare ipotesi, analizzare dati e costruire ragionamenti. Gli studenti saranno portati ad affrontare scenari del mondo reale, un po' come nei simulatori di volo. Dovranno dimostrare la propria capacità di capire contenuti o, meglio ancora, di elaborare con spirito critico quanto appreso.

Stiamo assistendo anche ad altri progressi. Non molti mesi fa è stato aggiornato l'esame Advanced Placement di biologia, per migliorarne la capacità di valutazione del pensiero critico su argomenti scientifici. Sono state quasi dimezzate le domande a risposta multipla e raddoppiate invece le domande aperte, che richiedono allo studente di elaborare una risposta scritta. Nei prossimi due anni saranno aggiornati anche gli Advanced Placement di chimica e fisica [gli Advanced Placement sono corsi di livello universitario che gli studenti delle scuole superiori possono seguire per avere anche vantaggi da un eventuale accesso successivo al college, N.d.r.].

Ultimo ostacolo: l'accesso alla banda larga

Queste innovazioni nell'insegnamento e nella valutazione dipendono tutte dalla tecnologia, in particolare dalla velocità e affidabilità delle connessioni Internet. Eppure attualmente i docenti che si dichiarano soddisfatti delle connessioni che hanno a scuola, ritenendole adatte alle proprie esigenze didattiche, sono meno del 20 per cento. Anche se il 91 per cento ha un computer a disposizione in classe, più di tre quarti ne giudicano insoddisfacente il livello tecnologico. A tutti, infine, mancano l'addestramento e il supporto necessari a integrare la tecnologia in aula.

Troppo spesso sono le scuole delle comunità rurali e più povere a fare le spese di queste carenze. Il divario si acuisce ancora di più quando gli studenti lasciano la scuola e tornano a casa. È allarmante il fatto che, secondo un rapporto del 2012 della Federal Communications Commission, 19 milioni di statunitensi, soprattutto nelle aree rurali, siano privi dell'accesso alla banda larga.

Sono quindi entusiasta dell'iniziativa annunciata nel mese di giugno dal presidente Obama in base a cui fornire entro cinque anni la connessione senza fili e la banda larga ad alta velocità al 99 per cento degli studenti. L'obiettivo di ConnectED è anche migliorare le competenze degli insegnanti, fornendo il sostegno e la formazione necessarie per introdurre la tecnologia in aula.

Dal 1996 il Governo federale, per colmare il divario digitale e garantire a tutti gli studenti l'accesso a Internet, ha avviato il programma E-Rate della Federal Communication Commission, portando la percentuale di classi con connessione Internet dal 14 al 95 per cento. Ma l'adozione della banda larga non ha tenuto il passo della crescente domanda di tecnologie e applicazioni ad alta tecnologia nelle scuole, che richiede connessioni più veloci e affidabili. Oggi molte scuole e distretti scolastici combattono con la lentezza di navigazione, cablaggi inadeguati e carenza di hardware. Negli Stati Uniti la connessione Internet è spesso più lenta nelle scuole che nelle case; agli inizi di E-Rate una scuola cablata implicava studenti accalcati nella stessa aula per guardare video in streaming. Se la banda larga è l'autostrada della conoscenza, ConnectED fornirà le rampe di accesso di cui le scuole hanno bisogno.

Gli insegnanti possono offrire un contributo prezioso. Con semplici strumenti come SchoolSpeedTest.org, in grado di verificare e monitorare le velocità di connessione, scuole e distretti dovrebbero verificare la propria effettiva capacità di banda. Acquisire e comunicare questa informazione chiarirà le varie esigenze e fornirà dati migliori che aiuteranno gli Stati a espandere le capacità.

Il problema della mancanza di connessioni veloci è una sfida che dobbiamo vincere. Investire nelle infrastrutture per una migliore qualità del digitale nelle scuole offre vantaggi immensi.

Estendere la banda larga a ogni scuola degli Stati Uniti significa offrire agli studenti non solo standard più elevati e sistemi di valutazione più sofisticati, ma anche tecnologie di nuova generazione per migliorare l'apprendimento al di là di ogni barriera geografica o sociale.

Colmare un nuovo divario digitale

La capacità di banda è solo la prima di tante sfide da affrontare per rendere la tecnologia un reale strumento di uguaglianza. Dobbiamo anche fare in modo che le nuove tecnologie arrivino ad avvantaggiare tutti gli studenti. Non è un segreto che le famiglie più ricche cerchino di assicurare ai propri figli gli strumenti di apprendimento migliori. Da alcuni studi risulta anche che, nelle comunità più benestanti, i genitori tendono a controllare più da vicino l'uso della tecnologia da parte dei figli, ottenendo livelli di apprendimento più elevati. Il pericolo, quindi, è che la rivoluzione dell'apprendimento digitale non faccia che ampliare il divario fra gli studenti delle scuole ricche e povere. Per una tecnologia così ben avviata verso l'abbattimento delle barriere geografiche e sociali, sarebbe davvero drammatico.

Tocca dunque a scuole, distretti, genitori e tecnologi capire come quadrare il cerchio assicurandosi che, soprattutto nelle comunità a basso reddito, gli insegnanti abbiano accesso alle tecnologie più avanzate e siano guidati nella scelta degli strumenti più adatti ai propri studenti.

Classi come quella di Kristie Ford a Detroit hanno dimostrato che cosa si può fare. Sta a noi, ora, dimostrare di avere imparato la lezione.

Arne Duncan è Ministro dell'istruzione degli Stati Uniti.

PER APPROFONDIRE

Enhancing Teaching and Learning through Educational Data Mining and Learning Analytics: An Issue Brief. U.S. Department of Education, Office of Educational Technology, ottobre 2012.

Emerging Opportunities in K–12 Learning Analytics for Personalized Learning at Scale. Pea R., lezione alla mediaX 2013 Conference alla Stanford University, 8 gennaio 2013. **www.youtube.com/watch?v=27UW5DKRpOg.**

NMC Horizon Report: 2013 K–12 Edition. Johnson L. , Adams Becker S., Cummins M., Estrada V., Freeman A. e Ludgate H., The New Media Consortium, 2013.

SONDAGGIO

«È stata una bella sorpresa»

Uno studente su cinque fra quelli di un sondaggio di «Nature» e «Scientific American» ha seguito un corso on line, e la maggior parte lo farebbe di nuovo

di Jeffrey Bartholet

Stefan Kühn studia biochimica all'Università di Stellenbosch, nella Western Cape Province in Sudafrica, e l'anno scorso doveva preparare la tesi per il master. Come lui stesso riconosce, il suo modo di scrivere era confuso e contorto. Poi ha frequentato un Massive Open On Line Course (MOOC, ovvero un corso in Rete pensato per la formazione a distanza di un numero elevato di utenti), della Duke University intitolato *Think Again: How to Reason and Argue*. Il corso ha cambiato il suo modo di affrontare la tesi. «Mi ha fatto capire che cosa è un buon argomento, come costruirlo e, in generale, come evitare gli errori. Ho iniziato il corso per interesse personale (mi piacciono le discussioni vivaci) e sono rimasto piacevolmente sorpreso quando ho visto che mi serviva anche per la tesi», spiega Kuhn.

A Kuhn questa tipologia di corsi piace e li ha consigliati agli amici, come hanno fatto i molti altri studenti di scienza, tecnologia, ingegneria e matematica (STEM, da *science, technology, engineering* e *mathematics*) che seguono corsi *on line*. Un sondaggio fra i lettori di «Nature» e «Scientific American» ha rilevato che, dei 1128 studenti STEM che avevano seguito almeno un MOOC, oltre l'80 per cento aveva apprezzato, abbastanza o molto, l'ultimo corso seguito. Una percentuale poco superiore era intenzionata a seguire un altro MOOC in futuro, e di volerlo suggerire ad altri.

Il caso di Kuhn è anche esemplificativo perché, come gran parte dei partecipanti al sondaggio, non si è iscritto al corso per ottenere qualifiche formali, ma per integrare le proprie conoscenze e imparare cose che, in una normale università di pietra e mattoni, nessuno gli insegnerebbe. Oltre a seguire il corso della Duke sul ragionamento, ha anche seguito di tanto in tanto alcune lezioni di programmazione e costruzione di modelli sociali. Visto che sono gratuiti e non incidono sui voti o sul libretto universitario, Kuhn si è sentito libero di saltare a piacimento da una parte all'altra del corso senza l'obbligo di seguire tutte le esercitazioni o compilare tutti i questionari.

Anche Yang Liu, una cittadina cinese che sta preparando un PhD all'Università di Osaka, in Giappone, si è iscritta ai MOOC per colmare alcune lacune. Nonostante abbia un master in biotecnologie, Liu segue una ricerca in ingegneria dei tessuti, disciplina che non ha mai studiato prima. «Non avevo il tempo di frequentare sei mesi di lezioni universitarie o studiare oltre 1000 pagine sull'argomento», spiega. Così ha letto le dispense di un corso di ingegneria biomedica della Yale University, ha seguito un corso on line del Massachusetts Institute of Technology (MIT) e ha consultato alcuni video di altre università sulle cellule staminali. (Le offerte di Yale e del MIT fanno parte dei rispettivi programmi OpenCourseWare, predecessori dei MOOC.) A causa del suo inglese un po' zoppicante, a Liu sfuggivano alcuni passaggi delle sessioni video, che quindi doveva spesso riguardarsi. «Ma anche così – conferma – i MOOC mi hanno fatto risparmiare un sacco di tempo».

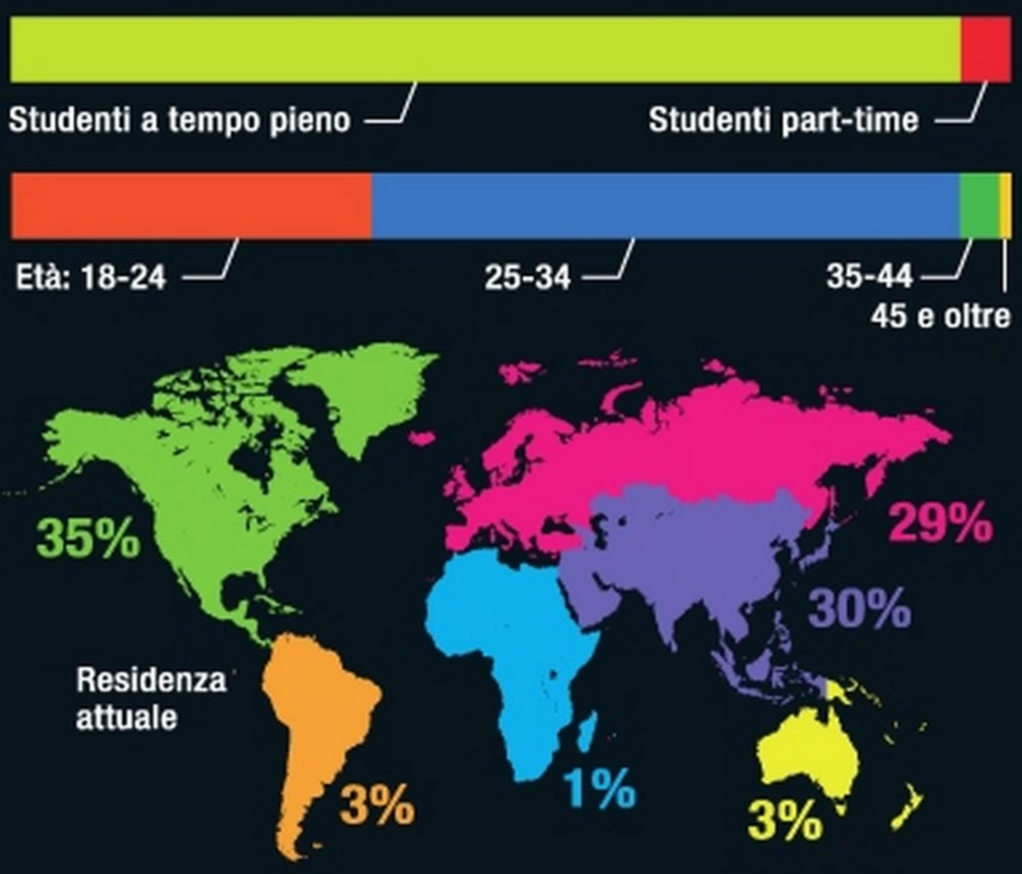
Fra gli studenti del sondaggio sui MOOC, la metà dei quali interessata soprattutto alla biologia, c'erano naturalmente anche gli scettici. Il numero di persone che giudicavano più istruttivi i corsi tradizionali era quasi pari a quello delle persone che favorivano la modalità on line. Decisamente più elevata era invece la percentuale persuasa che i corsi tradizionali offrissero superiori opportunità di carriera (43 per cento contro 26). Kathleen Nicoll, professore associato di geografia all'Università dello Utah, ha seguito un corso on line di matematica del MIT e non ne è rimasta entusiasta. A suo giudizio consisteva quasi esclusivamente di grafici in PowerPoint e video preconfezionati in cui si vedeva un professore che risolveva problemi. «I MOOC svolgono un buon lavoro di base da un punto di vista documentaristico. Ma sono un'esperienza passiva, come la televisione», afferma.

In effetti, alcuni corsi cercano di simulare esperienze virtuali di laboratorio, ma non possono sostituire «l'odore della formaldeide, o quello che si prova quando ti esplode qualcosa in faccia e non sai che fare», commenta Nicoll, persuasa dell'importanza fondamentale dell'interazione umana nell'apprendimento. A suo giudizio, forum e gruppi di discussione on line non sono un valido sostituto: «È la stessa differenza che c'è tra un amico reale e uno di Facebook», osserva. Eppure anche Nicoll vede le potenzialità della formazione telematica: «Uno dei principali vantaggi dei MOOC è che possono raggiungere chiunque abbia un computer e la connessione Internet, anche i disabili o chi si trova in carcere».

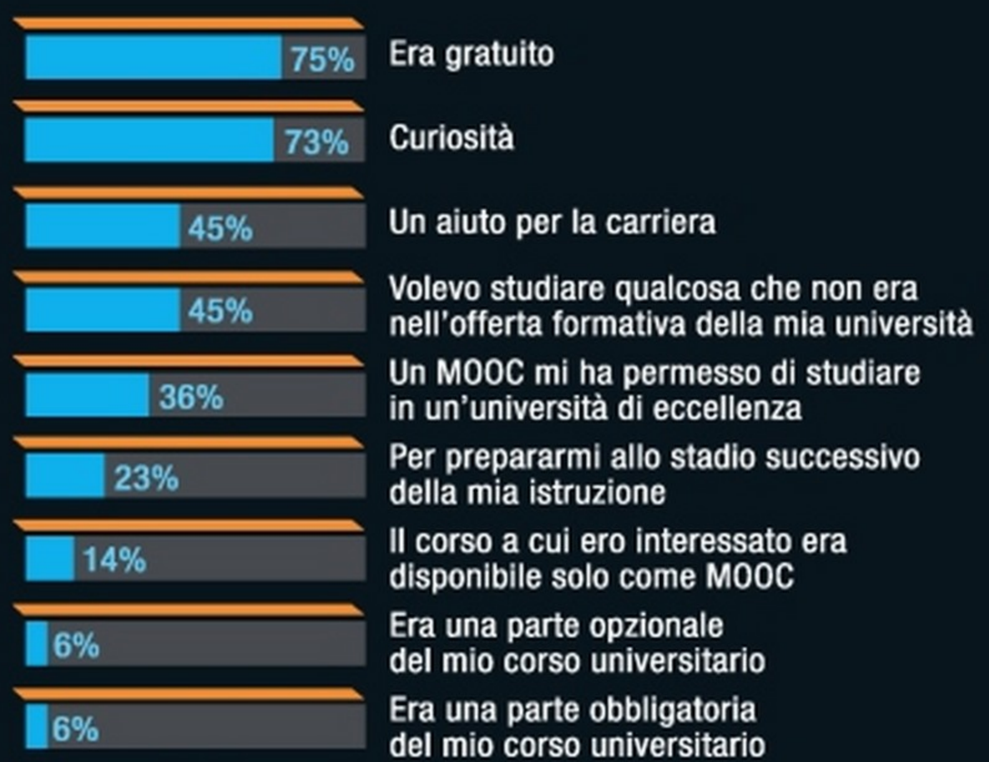
Dato che nei MOOC se sei bocciato non perdi soldi, l'umana inclinazione alla pigrizia e alla procrastinazione è più forte che nei corsi tradizionali. Eppure molti studenti STEM tendono a completare, sempre o quasi sempre, il lavoro richiesto dal corso: in parte per ricevere un attestato di frequenza. Shannon Bohle, bibliotecaria medico e *blogger* su SciLogs.com, si è iscritta a otto MOOC, di tanto in tanto «sbircia» le lezioni on line e in diverse occasioni si è impegnata al punto di ottenere un attestato finale. «A tutti piace ricevere riconoscimenti e trofei. Io seguo corsi per hobby, davvero: non mi interessa ottenere un diploma. Mi piace raccontare agli amici che ho concluso un corso e sentirmi dire "Oh, che brava. Complimenti!"».

A maggio «Scientific American» e «Nature», entrambe del Nature Publishing Group, hanno effettuato un sondaggio fra i lettori riguardo ai MOOC e altri strumenti educativi. Per realizzare il sondaggio è stato creato un link sui siti di «Scientific American» e di «Nature», diffuso attraverso social network ed e-mail inviate agli utenti registrati. I grafici qui sotto illustrano le 5851 risposte che abbiamo ricevuto da laureandi e laureati in matematica e in scienze di tutto il mondo.

Chi ha partecipato al sondaggio



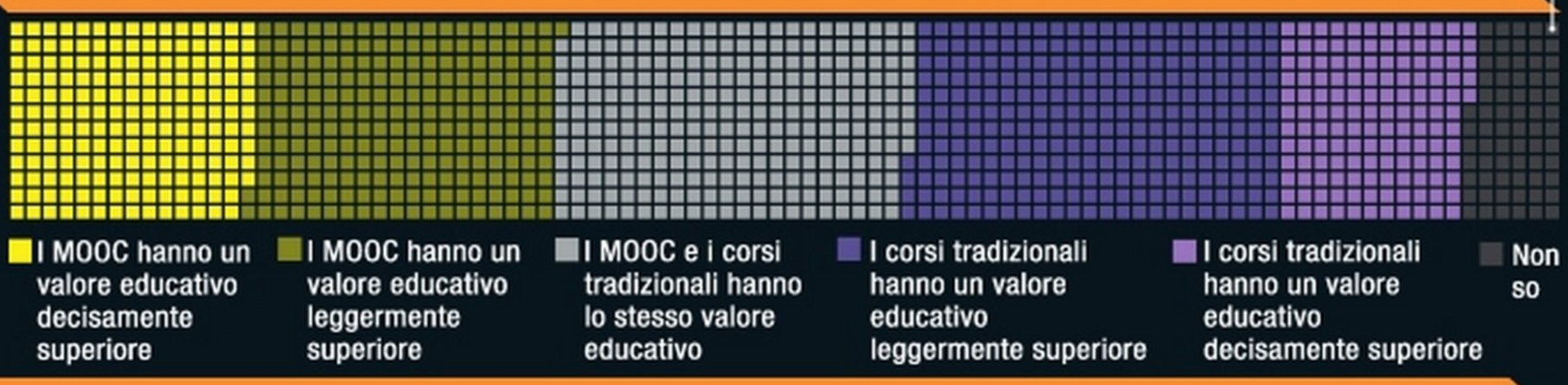
Quali sono state le motivazioni principali per il MOOC più recente che hai seguito?



Quale delle seguenti affermazioni descrive meglio la vostra conoscenza e partecipazione ai MOOC?

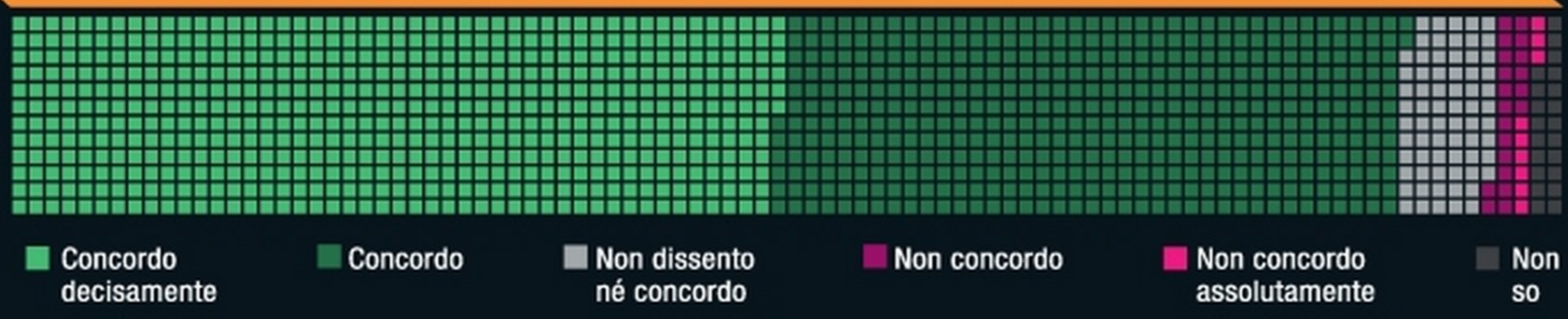
Ogni quadratino corrisponde a una persona che ha risposto

Confrontate i MOOC con i corsi tradizionali per il loro valore educativo (ovvero quanto avete imparato)



Confrontate i MOOC con i corsi tradizionali per il valore che, a vostro giudizio, hanno avuto per la vostra carriera

In che misura concordate o meno con la seguente affermazione: «Ripeterei di nuovo l'esperienza dei MOOC»



Grafica di Jen Christiansen; fonte: Katie Allin, responsabile del sondaggio per Nature Publishing Group

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

SPECIALE ABBONAMENTO

Ogni mese direttamente a casa tua le ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

IN ESCLUSIVA, solo con l'abbonamento, ti assicuri la possibilità di consultare sul **nuovo sito www.lescienze.it** gli oltre **4.200 articoli** pubblicati dal 1968 ad oggi!

E, se vuoi, puoi decidere di **regalare l'abbonamento alle stesse condizioni!**

Fino al 38% di sconto

SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO - 12 NUMERI	€54,00	**€39,00**	€15,00
2 ANNI - 24 NUMERI	€108,00	**€75,00**	€33,00
3 ANNI - 36 NUMERI	€162,00	**€99,00**	€63,00

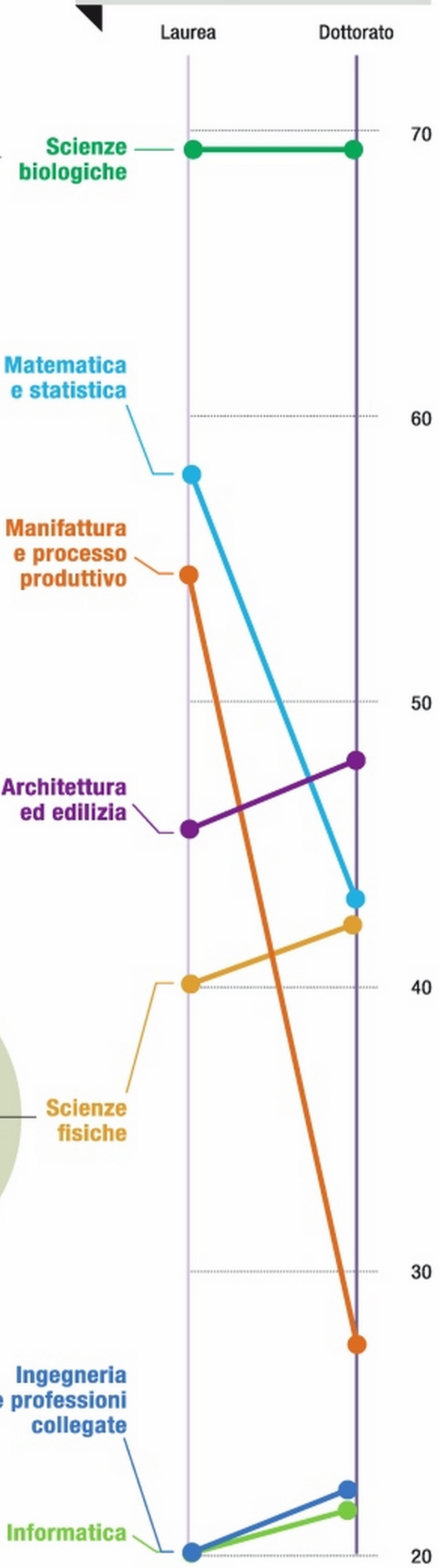
Offerta valida solo per l'Italia

SCEGLI DI ABBONARTI!

- **È CONVENIENTE**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!
- **È COMODO**
  Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!
- **È FACILE**
  ✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
  ✓ Chiama il n. 199.78.72.78* **(0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari.)**
  *Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).
  ✓ Compila, stacca e spedisci - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista

Totale di dottorati in materie scientifiche 2006

Percentuale di diplomi ottenuti da donne



Fonti dati: Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (*laureati*); She figures 2012, Commissione Europea, 2013 (*dottorati*)

Inaccettabili differenze di genere

Ancora oggi nel campo della scienza le donne sono una minoranza fin dall'università

In Italia c'è una questione di genere che riguarda gli studi universitari di carattere scientifico e i gradini successivi verso la carriera di ricercatore. Al di là della constatazione aneddotica, basta un giro in un ateneo, i dati di laureati e dottorati divisi per sesso tracciano un divario poco edificante, tranne che in pochi settori. In scienze biologiche le donne vanno forte, nel 2006 erano il 69 per cento sia dei laureati sia dei dottorati (il 2006 è l'anno più recente con dati per l'Italia disponibili per un confronto tra titoli anche con altri paesi europei). Vanno bene anche in matematica e statistica e in attività manifatturiere e di produzione, anche se la quota rosa crolla al momento del dottorato. In tutti gli altri campi i rapporti si rovesciano, in alcuni casi con numeri imbarazzanti.

Il problema è noto alle istituzioni europee, vista la dimensione continentale del problema. *She figures 2012*, recente indagine della Commissione Europea sull'inclusione delle donne nella scienza sottolinea che la maternità è ancora un fattore discriminante e che sono necessarie politiche più incisive. «Nonostante alcuni progressi negli ultimi anni, le donne nel campo della ricerca rimangono una minoranza, ed è come se una barriera invisibile impedisse loro di raggiungere posizioni di alto livello. Questa situazione costituisce una grave ingiustizia e uno scandaloso spreco di talenti», ha commentato Máire Geoghegan-Quinn, Commissaria europea per la ricerca, l'innovazione e la scienza.

Giovanni Spataro

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Teoricamente, si scia

Ogni tanto capitano: quelle strepitose giornate di ottobre in cui la temperatura è di qualche grado sopra la media stagionale, ma nel contempo l'aria è perfettamente trasparente e cristallina come riesce a essere solo d'inverno, quando il Sole decide di farsi vedere e riempire di colori estivi il paesaggio già pronto per le nevicate natalizie.

Da una piccola baita dal tetto con spioventi troppo inclinati per la pianura, ma del tutto adeguati per il paesino di montagna dove si trovava, si levano rumori di alacre attività, sbuffi di polvere e voci indaffarate. I proprietari delle voci (gatta Gaetanagnesi esclusa, rimasta a far la guardia in città) sono personaggi già noti ai lettori di questa rubrica.

«Oh, finalmente! Vi annuncio che il terrazzo è nuovamente praticabile. Incredibile quanta polvere dei secoli possa accumularsi in sei mesi!».

La voce è quella di Doc, splendente nella sua tuta da lavoro (un paio di jeans sdruciti e felpa di vent'anni), appena rientrato in casa dopo una veloce consegna di sacchi neri nei contenitori deputati alla raccolta rifiuti indifferenziata.

Alice sembra apprezzare: «Bene, adesso abbiamo qualche tenue speranza di sopravvivere qua dentro senza fare la conoscenza con tutte le specie possibili dei vibrioni del colera. Capo, tu a che punto sei, con la zona notte?».

«Tutto fatto: arieggiato le stanze, preparata l'attrezzatura, arieggiato le stanze, fatti i letti, arieggiato le stanze, sistemata la biancheria in bagno, arieggiato le stanze...».

La voce di Alice sale di un'ottava e mezza: «Rudy, se tutta la tua abnegazione per la pulizia del piano di sopra non era altro che una scusa per imboscarti, questa è la volta che il pianeta dovrà piangere la scomparsa di uno dei suoi maggiori ingegni matematici. E se hai fumato la pipa nella mia camera da letto, il pianeta compiangerà anche il modo dolorosissimo in cui cotanto genio è dipartito».

La voce che giunge dal piano superiore palesa un'impercettibile incrinatura: «Non mi ricordo se ti ho detto che ho ben arieggiato le stanze...».

«Scendi immediatamente! Bisogna lavare i pavimenti, e un giro di straccio e spazzolone non te lo leva nessuno, stavolta!».

Piotr si guarda in giro, scuotendo la testa: «Tanto non c'è via di scampo: la geometria di questa casa è spietata. Finiremo anche stavolta come l'anno scorso».

«Intendi dire bloccati per un quarto d'ora nell'angolo cieco del salotto, dopo aver lavato tutti pavimenti, ad aspettare che si asciughino?».

«Già. Lo trovo irritante: uno viene in montagna per divertirsi, per sciare, e finisce sempre a sudare come un matto e a buttar via tempo prezioso a non far niente...».

«Doc, non fare il melodrammatico», sospira Alice. «Tanto di sciare non se ne parla. C'è un clima che neppure a ferragosto...».

Dopo aver fatto finta di lavare mezzo metro quadro di pavimento, Rudy si avvia con aria esausta verso il salotto. Carica la pi-

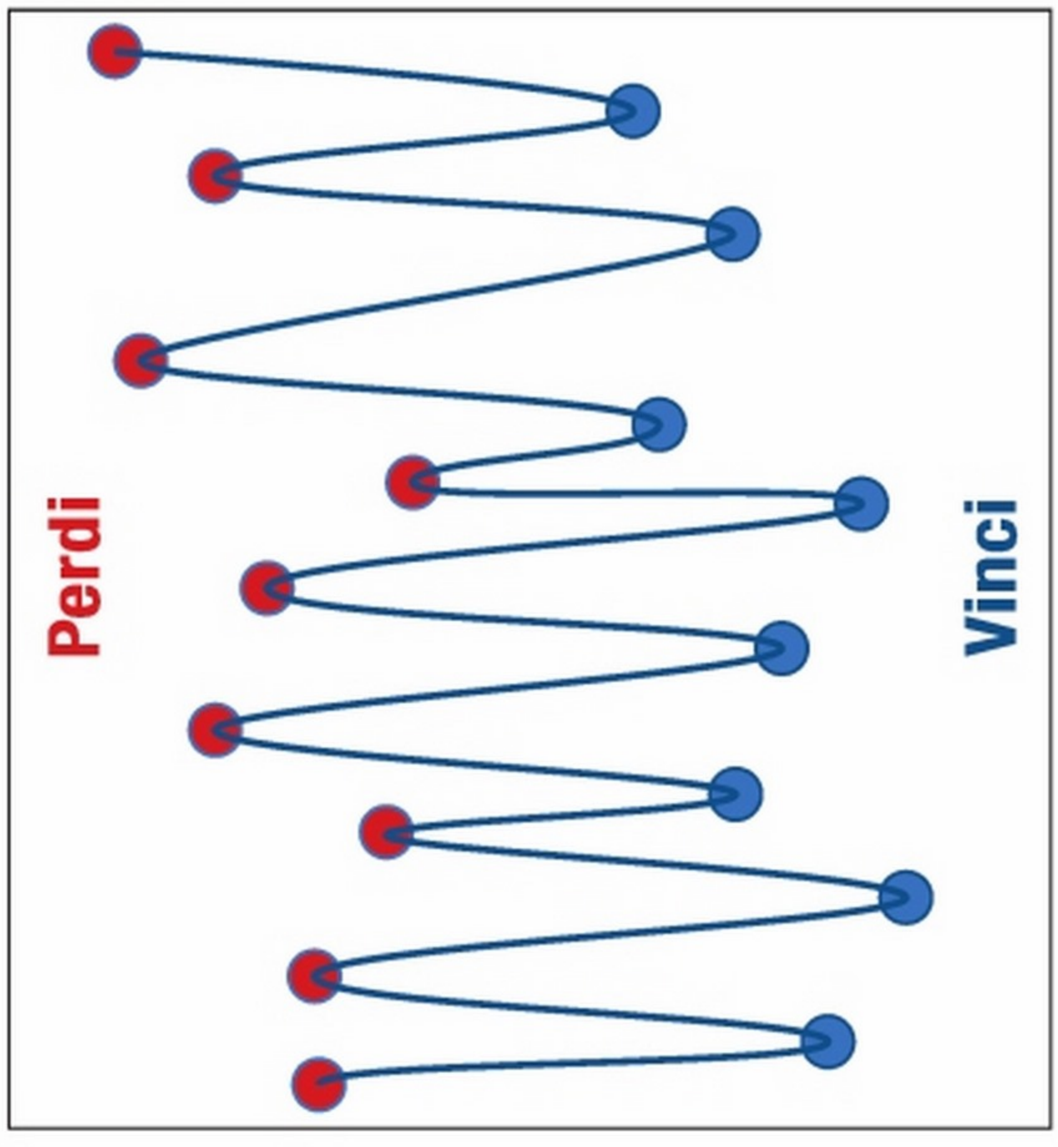


Illustrazione di Stefano Fabbri

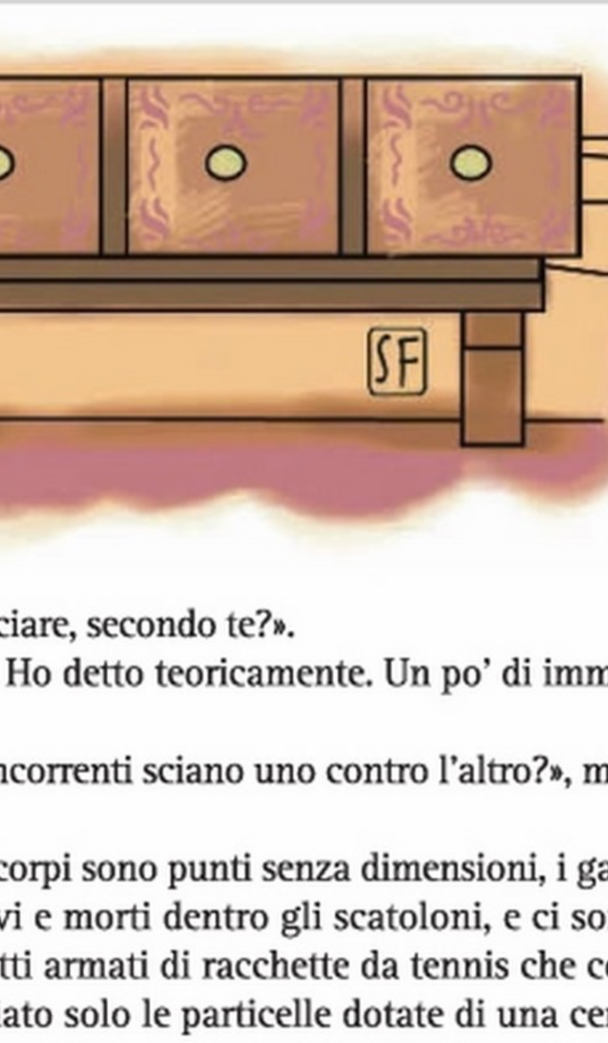
La soluzione del problema sarà pubblicata in forma breve sul numero di novembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it.
Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

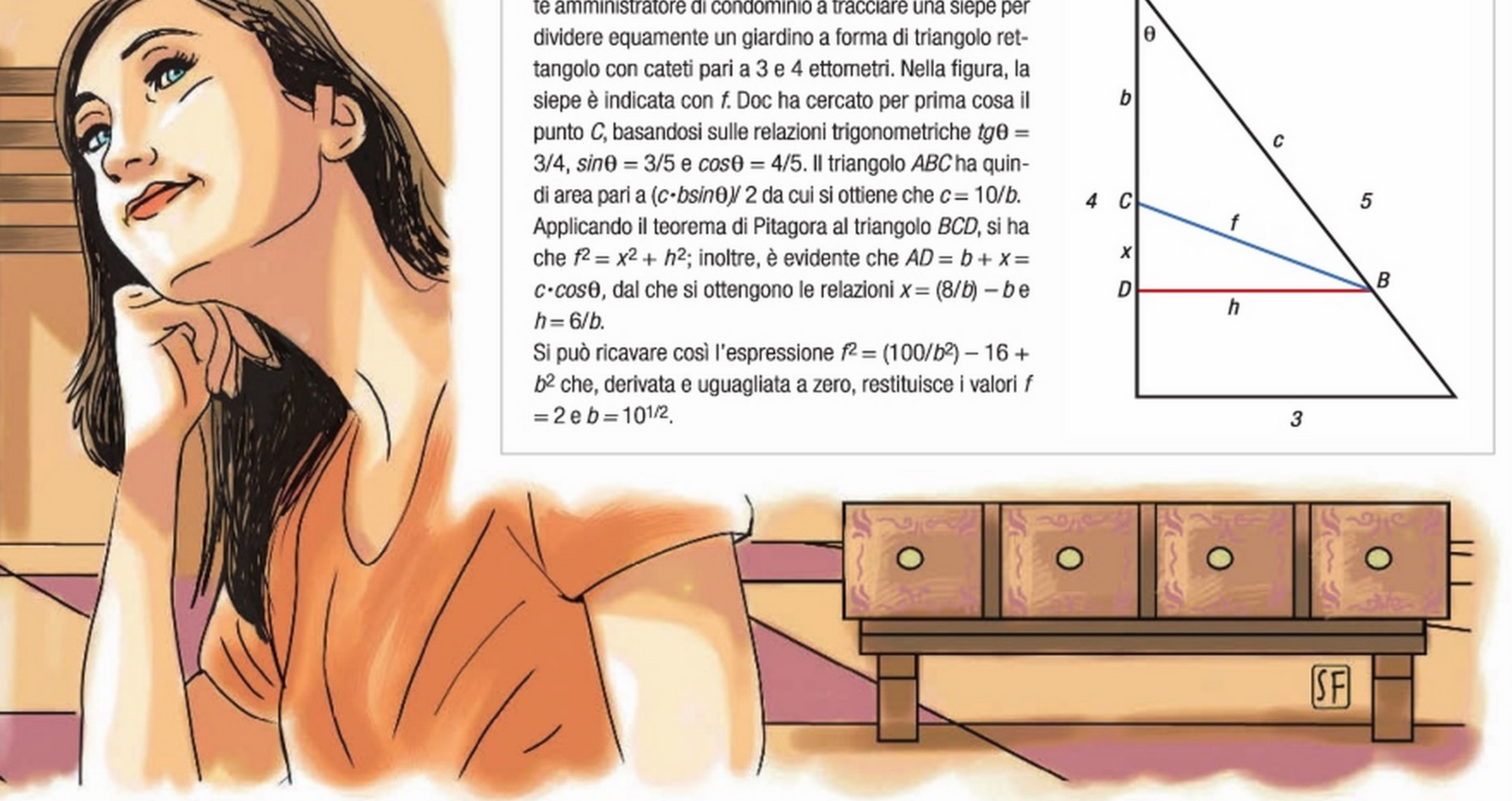
In una piccola baita di montagna ma senza neve nei paraggi i Rudi danno vita a una gara di slalom assai peculiare

IL PROBLEMA DI SETTEMBRE

Il mese scorso Doc ha incautamente aiutato un arrogante amministratore di condominio a tracciare una siepe per dividere equamente un giardino a forma di triangolo rettangolo con cateti pari a 3 e 4 ettometri. Nella figura, la siepe è indicata con *f*. Doc ha cercato per prima cosa il punto *C*, basandosi sulle relazioni trigonometriche $tg\theta = 3/4$, $sin\theta = 3/5$ e $cos\theta = 4/5$. Il triangolo *ABC* ha quindi area pari a $(c \cdot b sin\theta)/2$ da cui si ottiene che $c = 10/b$. Applicando il teorema di Pitagora al triangolo *BCD*, si ha che $f^2 = x^2 + h^2$; inoltre, è evidente che $AD = b + x = c \cdot cos\theta$, dal che si ottengono le relazioni $x = (8/b) - b$ e $h = 6/b$.

Si può ricavare così l'espressione $f^2 = (100/b^2) - 16 + b^2$ che, derivata e uguagliata a zero, restituisce i valori $f = 2$ e $b = 10^{1/2}$.





pa e sceglie il posto migliore sul divano: «Come al solito, vi lasciate dominare dagli eventi, anziché provare a dominarli: diamine, siamo in montagna, e siamo specializzati nel pensiero teoretico! Quindi, se vogliamo sciare, scieremo!».

«Capo, non fare lo spiritoso. In questa landa desolata non ci sono cannoni per la neve artificiale, e se anche ci fossero non li metterebbero certo all'opera solo per noi».

«La neve artificiale è quanto di più pragmatico si può concepire in un paesino di montagna: io ho parlato di teoria! Che ne dite di uno slalom speciale con carta e penna?».

Alice si lascia cadere su una sedia; Piotr si accontenta dell'unico angolo di pavimento asciutto; entrambi, all'unisono, emettono un sospiro gravido di angoscia. Prima che possano esprimere verbalmente il loro travolgente entusiasmo, Rudy ha già preso in mano il suo fedele quadernetto e ha cominciato a disegnare qualcosa su una pagina bianca, usando due penne di colore diverso. Il risultato della sua alacre composizione è una sorta di serpentina modulata su nove palline rosse sulle anse a sinistra e otto palline blu sulle anse a destra.

«Ecco, questa è la pista da slalom. Doc, tu parti per primo da un'estremità, e Treccia dall'altra: dovete passare da tutte le porte. A ogni turno ognuno deciderà se muoversi in avanti di una, due o tre porte, e...».

«... E questo sarebbe sciare, secondo te?».

«Teoricamente, Alice. Ho detto teoricamente. Un po' di immaginazione, no?».

«Nello sci teorico i concorrenti sciano uno contro l'altro?», mugola Doc.

«Nella fisica teorica i corpi sono punti senza dimensioni, i gatti sono al tempo stesso vivi e morti dentro gli scatoloni, e ci sono intere schiere di diavoletti armati di racchette da tennis che colpiscono di dritto incrociato solo le particelle dotate di una certa energia cinetica, e tutto funziona a meraviglia. Vogliamo continuare? Arriverete in fretta nella situazione in cui non potrete più muovere, perché i vostri segnalini saranno uno di fronte all'altro, e non possono oltrepassarsi. A quel punto, vince chi è su un punto blu».

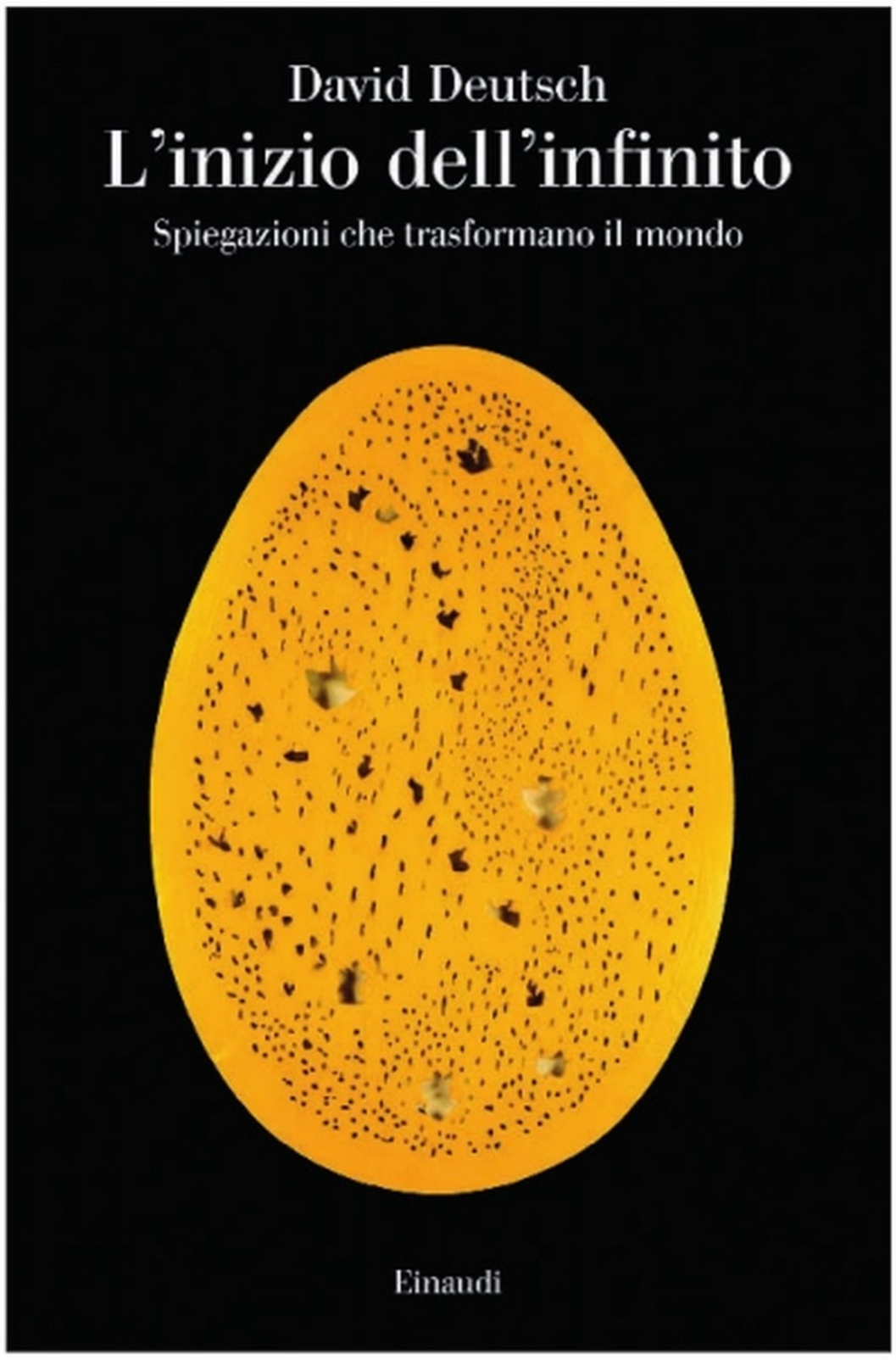
«Beh, non mi sembra il massimo dell'intrattenimento invernale, ma quanto meno si tratta di un vero gioco e non di un problema. Grazie, Capo...».

«Che cosa vuoi dire, Alice? È evidente che questi dieci minuti che ci rimangono prima che il pavimento asciughi li userete per elaborare una strategia vincente per uno dei due giocatori. Sì, Doc?».

«Beh, la strategia mi pare piuttosto semplice. Se questa è un pista da slalom, di sicuro perde quello che la fa in salita...».

Un principio di ottimismo

L'inizio dell'infinito
di David Deutsch
Einaudi, Torino, 2013, pp. 400 (euro 31,00)



Se qualche volta, scrutando il cielo nell'oscurità o guardando un documentario sui confini dell'universo, vi siete sentiti delle «scorie chimiche» del cosmo, come Stephen Hawking ha definito la specie umana, niente paura. Questo libro farà svanire l'impressione di fluttuare persi in uno spazio sterminato. Non che David Deutsch, fisico dell'Università di Oxford, uno dei padri del calcolo quantistico, voglia rimetterci sul piedistallo dell'universo, dopo che la rivoluzione copernicana ha disarcionato la specie umana dal centro del cosmo. Ma certamente potrete contare su un'iniezione di fiducia, un vero e proprio «ottimismo cosmico».

Dopo vari tentativi rimasti incompiuti, dall'Atene del V secolo a.C. alla Firenze dei Medici, «mini-Illuminismi» li chiama Deutsch, l'umanità ha finalmente spiccato il volo con il pensiero scientifico e con la capacità di ideare buone spiegazioni a problemi sempre più complessi. Fin dalle prime pagine c'è un'adesione dichiarata all'epistemologia di Karl Popper. Il motore della conoscenza scientifica sono le congetture, che si rivelano buone spiegazioni della realtà resistendo a un continuo esercizio critico e ai tentativi di falsificarle. Sono state le buone spiegazioni a innescare la rivoluzione scientifica, non le verifiche sperimentali. Anche il mito di Persefone forniva una spiegazione per l'alternarsi delle stagioni, l'inverno scaturiva dalla tristezza di Demetra, ma solo quella che individua il responsabile nell'inclinazione dell'asse terrestre si è rivelata una buona spiegazione, perché qui tutto si tiene e non si può modificare facilmente.

La divisione in buoni e cattivi è un filo rosso lungo tutto il libro, che colpisce soprattutto la filosofia. Quella cattiva, in cui Deutsch include il positivismo logico, Wittgenstein e il postmodernismo, si oppone alla crescita della conoscenza. L'idea di fondo che il fisico di Oxford presenta nel libro è che invece la crescita della conoscenza può essere illimitata, e che oggi saremmo solo all'inizio di un infinito progresso di conoscenze. Una visione che ha il suo culmine nella formulazione del principio di ottimismo, per cui tutti i mali sono causati da mancanza di conoscenza.

Il ragionamento di Deutsch è condotto con molto rigore, e l'esposizione dei contenuti scientifici è spesso illuminante, come nei capitoli dedicati ai livelli di infinito, con il celebre esperimento mentale di Hilbert sull'albergo di infinite stanze, oppure al multiverso e all'interpretazione a molti mondi della meccanica quantistica (per inciso, Deutsch bolla come frutto di cattiva filosofia l'interpretazione finora maggioritaria, quella di Copenhagen), quando illustra il parallelo tra evoluzione biologica ed evoluzione culturale, o i limiti dei programmi di intelligenza artificiale per riprodurre la creatività del pensiero umano.

Ma lascia un po' perplessi la sua bulimia esplicativa, quando dedica un capitolo a dimostrare che la bellezza è un fatto oggettivo, partendo dalla coevoluzione tra fiori e insetti. Tuttavia proprio il fatto che Deutsch sia intellettualmente provocatorio, parlando di equa distribuzione dei seggi in Parlamento o costruendo un lungo dialogo socratico in cui Ermes si fa portatore delle idee di Popper, o mentre duella a distanza con altri grandi autori, come Richard Dawkins, Martin Rees o Douglas Hofstadter, rende il libro un tassello importante del dibattito sulla natura della conoscenza scientifica e il suo ruolo nello sviluppo umano.

Uno dei principali obiettivi polemici nel libro di Deutsch è la metafora dell'astronave per descrivere la Terra come unico pianeta in grado di farci sopravvivere ed evolvere. Niente di più falso, perché la biosfera è assai meno ospitale di quanto generalmente siamo propensi a credere, ed è grazie alla conoscenza generata dagli esseri umani se si sono create condizioni favorevoli alla nostra specie per prosperare.

Nella parte finale c'è spazio anche per gli interrogativi sulla sostenibilità del progresso umano. Partendo dal celebre caso dell'Isola di Pasqua, Deutsch sostiene che una civiltà è destinata a crollare se è statica, priva di dialettica critica e di innovazione culturale. E che la nostra civiltà, dotata pure di computer e della coscienza dell'infinito, può durare molto a lungo.

Marco Motta

Il fascino di una vita dedicata alla scoperta della coscienza

Nulla di più grande
di Marcello Massimini e Giulio Tononi
Baldini&Castoldi, Milano, 2013
pp. 208 (euro 18,90)

Capire dove si trova la coscienza e riuscire a misurarla. Per anni sono stati questi gli obiettivi di Giulio Tononi dell'Università del Wisconsin a Madison e Marcello Massimini, dell'Università degli Studi di Milano. Prima è venuta la teoria, quella dell'informazione integrata, secondo cui un sistema è cosciente se è ricco di informazione e capace di integrarla. Poi la definizione di un'unità di misura per l'informazione integrata e la proposizione di principi generali per stimarla *in vivo*. Infine la messa a punto della strumentazione, basata su due vecchie conoscenze della neurofisiologia, stimolazione magnetica transcranica ed elettroencefalografia che permettono di «bussare» sul cervello e ascoltarne l'eco. Nella speranza che il «rumore» prodotto da un cervello cosciente sia diverso da quello di un cervello non cosciente (perché il suo proprietario dorme, è anestetizzato o in stato vegetativo).

Teoria in testa e «coscienziometro» alla mano, gli autori hanno dato il via agli esperimenti, verificando che è proprio così: il cervello, in particolare la corteccia, cosciente risponde alla stimolazione magnetica in modo ben diverso da quello non cosciente. E soprattutto in modo ben riconoscibile: perché quantificare la coscienza è una sfida scientifica e filosofica, e anche una questione drammaticamente pratica per chi si occupa di pazienti in stato vegetativo.

Ecco, è proprio questo affascinante percorso che i due autori raccontano. Lo fanno in modo graduale ma ricco, con passaggi pieni di emozione e a tratti quasi di poesia, tenendo per mano il lettore nei punti un po' più complessi. Trasmettendo il fascino di una vita alla scoperta della «cosa più grande che c'è».

Valentina Murelli

La grande occasione persa dalla farmaceutica italiana

Il bagnino e i samurai
di Daniela Minerva e Silvio Monfardini
Codice, Torino, 2013,
pp. 320 (euro 16,90)

Il «bagnino» è l'ultimo amministratore delegato di Montedison: Carlo Sama, cognato di Raul Gardini. I samurai sono sette ricercatori che negli anni sessanta inaugurarono in Italia una ricerca oncologica di livello internazionale. Le loro storie si intrecciano quando il primo si trova per le mani l'unica vera grande industria farmaceutica cresciuta nel nostro paese (Farmitalia-Erbamont) e, al termine di una disastrosa stagione di rapacità e corruttele, la vende a una società svedese. Era il 1993: pochi mesi dopo Sama fu arrestato.

Il libro della giornalista Daniela Minerva e di Silvio Monfardini, uno dei samurai, ripercorre questa storia sciagurata tessendo i fili di un intreccio complesso tra politica, imprenditoria, luoghi comuni italiani («l'industria del farmaco lucra sulle malattie») e una medicina che cambiava faccia. Perché l'arrivo dei farmaci chemioterapici ha segnato la nascita dell'oncologia: una disciplina che cura il malato dalla diagnosi all'eventuale, non più ineluttabile, fine vita. E perché dove si fa ricerca si cura anche meglio. Proprio Farmitalia aveva sviluppato uno dei farmaci ancora oggi più usati, l'adriamicina, sperimentata all'Istituto nazionale dei tumori di Milano grazie al felice matrimonio tra imprenditoria privata e ricerca pubblica e grazie a Gianni Bonadonna, l'uomo che mise insieme i sette samurai e li battezzò.

La tesi di Minerva e Monfardini è che sia stata una delle nostre peggiori occasioni perse: quello degli antitumorali è un mercato immenso, al quale abbiamo rinunciato. Mentre il nostro servizio sanitario nazionale spende (deve spendere) un miliardo e mezzo all'anno per acquistarli da aziende estere. Le risorse per ricominciare potrebbero venire dai farmaci generici. Ma la volontà di farlo?

Silvia Bencivelli

Higgs, staminali e cibo spaziale a Bergamo

Dal 4 al 20 ottobre, Città Alta e Città Bassa di Bergamo verranno animati da conferenze, spettacoli, laboratori e mostre in occasione dell'undicesima edizione di BergamoScienza. Il vasto programma impone una scelta nella segnalazione degli eventi, tutti gratuiti e aperti al pubblico, ma per avere un quadro completo basta collegarsi al sito web www.bergamoscienza.it. Tra le iniziative di punta corre obbligo di sottolineare quella dedicata a un tema attuale: ricerca e uso delle

cellule staminali. Ne discuteranno la neo-senatrice a vita Elena Cattaneo, Paolo Rami dell'Ospedale San Raffaele di Milano, il giurista Amedeo Santosuosso e Luca Pani, dell'Agenzia italiana del farmaco.

Numerosi gli ospiti italiani e stranieri, tra i quali diversi Nobel e scienziati in odore del premio più ambito, come Fabiola Gianotti. La scienziata italiana illustrerà i risvolti della scoperta del bosone di Higgs, a cui a partecipato come responsabile di ATLAS, uno dei due rivelatori che hanno registrato tracce della particella. Ultimo, ma solo in ordine di segnalazione, l'appuntamento a tema sul cibo al quale interverrà anche l'astronauta Samantha Cristoforetti per raccontare che cosa e come si mangia nello spazio. (*cb*)

Cortesia BergamoScienza

La casa della saggezza
di Jim Al-Khalili
Bollati Boringhieri, Torino, 2013, pp. 342 (euro 24,00)

Quando gli scienziati arabi influenzavano il mondo

«"Chi sei?", gli chiesi, ed egli rispose: "Sono Aristotele". "O filosofo, posso farti qualche domanda?" - "Chiedi", mi disse. E io: "Che cos'è il bene?" - "Tutto ciò che è bene secondo le masse". "E poi?". E lui replicò: "Non c'è un poi"». Viene ricordato così il sogno di al-Ma'mun, settimo califfo di Baghdad della dinastia abbaside, che governò sulla comunità islamica tra l'813 e l'833. Oltre a essere di dubbia autenticità, l'episodio sarebbe anche poco significativo se non segnasse, secondo la tradizione, l'inizio di un'inesauribile sete di conoscenza del califfo, che oggi è ricordato per aver dato particolare impulso a un fenomeno già iniziato nella comunità araba dell'epoca: un'immensa opera di traduzione di testi persiani, indiani e soprattutto greci. La disponibilità del sapere di tutte le civiltà più antiche a sua volta favorì il fiorire della cultura a Baghdad, che ebbe il suo simbolo nell'imponente centro studi noto come Bayt al-Hikma (la «casa della saggezza»), e la nascita dell'epoca d'oro della scienza araba, a cui è dedicato questo saggio di Jim Al-Khalili.

Fisico teorico nato proprio a Baghdad, Al-Khalili insegna all'Università del Surrey, nel Regno Unito, e da qualche anno si dedica con successo anche alla divulgazione scientifica. In questo caso un pizzico di orgoglio per le proprie origini serve a rendere ancora più appassionata e avvincente la narrazione della parabola della scienza araba, sempre correttamente inserita in una ricostruzione degli eventi storici concomitanti e senza rinunciare a chiarire i particolari dei risultati più importanti.

Il tema caro all'autore è il continuo divenire delle conoscenze, che si trasmettono tra culture diverse, vivono nuova vita grazie a contributi originali, per poi riprendere il cammino verso altre civiltà, spesso con alterne fortune. Per questo Al-Khalili sottolinea che la stessa opera di traduzione dei testi antichi ostinatamente promossa da al-Ma'mun non fu un'assimilazione passiva del sapere pre-esistente, ma stimolò il confronto tra diverse tradizioni astronomiche e la nascita del primo osservatorio di Baghdad.

Allo stesso modo i numeri arabi, il più importante lascito di questi fulgidi secoli per la cultura scientifica moderna, sono derivati da una notazione simbolica in uso nel III secolo d.C. in India, che i matematici musulmani contribuirono a migliorare. A portarli in Europa ci pensò Leonardo Pisano, meglio noto come Fibonacci, avendo intuito già nel 1200 il grande vantaggio per i calcoli del sistema posizionale. Eppure, cinque secoli dopo, la Corte dei Conti francese utilizzava ancora i numeri romani, a riprova di come le idee più feconde, anche in Occidente, spesso abbiano stentato ad affermarsi.

Folco Claudi

L'erba della regina
di Paolo Mazzarello
Bollati Boringhieri, Torino, 2013, pp. 190 (euro 16,00)

Come la belladonna di Elena ha curato l'encefalite letargica

La storia di questo libro inizia nella Bulgaria del XIX secolo, passa attraverso gli ultimi Savoia regnanti, e arriva fino a *Risvegli* di Oliver Sacks. Quest'ultimo raccontava come un nuovo farmaco aveva «risvegliato» i pazienti di encefalite letargica. Il breve e divertente saggio di Mazzarello invece narra della prima terapia efficace contro questa strana malattia che si manifesta con un sonno continuo e prolungato e sintomi simili, ma non uguali, al Parkinson.

La «cura bulgara» si basava sulle radici di *Atropa belladonna*, pianta che contiene un alcaloide tossico (già usato nella stregoneria europea) e da cui è stata poi estratta l'atropina. L'uso della belladonna contro l'encefalite letargica si diffuse nell'Ottocento nei Balcani, e da lì è arrivata in Italia grazie alla regina Elena, consorte del re Vittorio Emanuele III, originari del piccolo regno del Montenegro. Grazie a questa connessione territoriale, la regina venne a conoscenza della terapia a base di belladonna e a sue spese la rese disponibile in Italia (e poi in Germania).

La storia dell'erba della regina è quindi una traccia interessante sia per raccontare il personaggio di Elena sia per leggere la diffusione dei farmaci e la loro progressiva standardizzazione. Da un lato, il nucleo del libro è costituito dalla biografia della regina, protagonista di numerose iniziative sanitarie e assistenziali (da cui il nome di molti ospedali a lei intitolati) per le quali le venne attribuita una laurea *ad honorem* in medicina, nonché molte onorificenze religiose. Dall'altro è la narrazione di un farmaco che passa dalla produzione artigianale fino all'essere scientificamente studiato, usato e prodotto su base industriale (con la creazione di pillole da parte di officine farmaceutiche italiane), superando i limiti della manifattura su piccola scala in laboratori molto lontani dalla chimica industriale che si faceva largo proprio in quegli anni.

L'intreccio di questi due fili storici produce un appassionante percorso dove si legge in filigrana la peculiarità della farmacologia prima del decollo dell'industria farmaceutica, con il prestigio personale di personaggi (non sempre medici) a far da motore alla diffusione di sostanze terapeuticamente utili, così che il passaparola tra i pazienti era una parte integrante di un processo labile e poco organizzato, in cui contingenze storiche imprevedibili (come il matrimonio tra il Savoia e la nobile montenegrina) potevano fare la differenza, nel bene e nel male, per i malati.

Mauro Capocci

Il bello della scienza

Il Festival della Scienza di Genova compie undici anni e dedica l'edizione del 2013 al tema della bellezza in varie discipline protagoniste della ricerca

Se il Festival della Scienza di Genova fosse un libro, comincerebbe ad avere un numero di pagine considerevole, che si amplia ogni anno con l'aggiunto di un nuovo capitolo. Quello di quest'anno è l'undicesimo, ma possiamo stare tranquilli sul fatto che l'epilogo è ancora lontano. Nella «storia» scelta per il racconto del 2013, dal 23 ottobre al 3 novembre, troviamo gli elementi «narrativi» che hanno contribuito al successo del Festival: l'incontro diretto con i ricercatori, la passione della divulgazione di alto livello, l'attenzione per ogni fascia di età nelle mostre e nei laboratori.

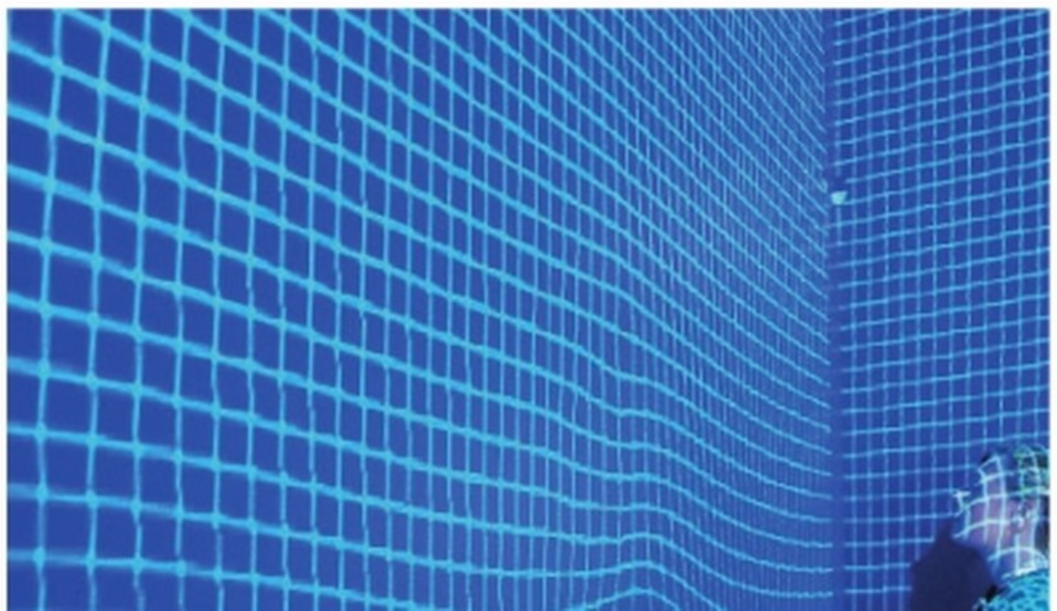
Il tema, la bellezza, è ispirato da una frase di Marie Curie: «Sono tra coloro che pensano che la scienza abbia una grande bellezza. Uno scienziato, nel suo laboratorio, non è solo un tecnico: è anche un bambino messo di fronte a fenomeni naturali che lo affascinano come una favola». Un pensiero che condividono i premi Nobel ospiti: Ada Yonath, con il suo sguardo curioso sulla natura in particolare sui ribosomi, e Konstantin Novoselov, premiato a Stoccolma per i suoi studi sul grafene. Tra le novità di questa edizione ci sono *Capitani coraggiosi*, un ciclo di incontri dedicato a donne e uomini che hanno alle spalle grandi storie imprenditoriali e di innovazione, con esempi come Andrea Illy e Giannola Nonino, e la consegna del Premio nazionale per l'innovazione 2013 dedicato alle *start-up* ad alto potenziale tecnologico. Inoltre, alla vasta offerta di video *live* e *on demand* della piattaforma festivalscienzalive.it, quest'anno si aggiunge Italia×10: dieci protagonisti raccontano progetti d'impresa nati in ambito di ricerca scientifica.

La bellezza è anche al centro delle mostre, a cominciare da *Bella e possibile*, con la matematica come protagonista, passando per *Agorà* dedicata alla forza del pensiero umano e alle conquiste che ha permesso. Bello ma allo stesso tempo spaventoso è il paesaggio antartico raccontato in *Lavoro, freddo, buio, silenzio, solitudini, convivenze obbligate*: tutti sostantivi che i ricercatori che vanno al Polo Sud conoscono bene. Un buon capitolo di un libro non può dimenticare il divertimento, che al festival tocca l'apice con la conferenza-spettacolo di Antonio Ornano e Francesco Tomasinelli: *La rivincita del sesso debole - La mortificazione del maschio nel mondo animale*. Il mistero, invece, è garantito da *Quello che non so*, uno spettacolo dell'Istituto nazionale di fisica nucleare dedicato alla materia oscura.

Marco Boscolo

Cortesia Festival della Scienza (*tutte le foto, 4*)

Dal 2003. Immagini delle precedenti edizioni del Festival della Scienza di Genova, un appuntamento che dal 2003 si rinnova anno dopo anno.



Dove & quando:

FESTIVAL
DELLA SCIENZA
dal 23 ottobre al 3 novembre
Sedi varie, Genova
www.festivalscienza.it
www.festivalscienzalive.it

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Anche i demoni sono tecnologici

Dal Telaio Pneumatico agli UFO, le allucinazioni seguono la tecnologia

Agli inizi dell'Ottocento i rivoluzionari giacobini impiantavano calamite nel cervello dei politici britannici e francesi per controllarne a distanza i pensieri con il Telaio Pneumatico, una grande macchina che usava la chimica e il mesmerismo per inviare gas magnetizzati verso le vittime. Così, almeno, giurava l'attivista politico britannico James Tilly Matthews, aggiungendo di avere nella testa una di queste calamite giacobine. Fu ricoverato in un manicomio londinese, e divenne il primo caso documentato di sintomi di schizofrenia paranoide, descritti e illustrati minuziosamente dal suo medico, John Haslam.

Cent'anni dopo Jakob Mohr, un contadino tedesco nella stessa condizione mentale, descriveva e disegnava una macchina più compatta, simile a una fotocamera dell'epoca, che emetteva «onde elettriche» e lo rendeva schiavo, iniettandogli pensieri che l'operatore della macchina stessa poi ascoltava attraverso una cuffia audio. Le dettagliate illustrazioni del tormento di Mohr sono ora nella collezione Prinzhorn della clinica psichiatrica dell'Università di Heidelberg.

Tempo presente. Al telefono una donna mi confida angosciata di udire voci che la seguono ovunque facendo una radiocronaca meticolosa di quello che fa. Ha capito che gli altri non le sentono e quindi deduce (razionalmente, per lei) di essere vittima di un esperimento di controllo mentale. Presumendo di avere un microchip impiantato nel cervello ha cercato informazioni su Internet, ha trovato i miei articoli su quest'argomento e ora vuole un mio parere su quale tecnologia usare per bloccare l'impianto. Cerco di indirizzarla delicatamente verso un'assistenza medica opportuna.

Le allucinazioni, insomma, seguono l'evolversi della tecnologia. Prima della rivoluzione industriale, chi sentiva le voci attribuiva loro un'origine soprannaturale, l'unica plausibile per la cultura e le conoscenze dell'epoca; poi ha attinto sempre più spesso alle novità scientifiche e agli incubi del momento, con un approccio razionale che appare quasi paradossale in uno stato mentale che associamo solitamente allo scollamento dalla realtà. Se 200 anni fa le voci incorporee venivano spiegate ricorrendo al grande Telaio Pneumatico e al magnetismo animale, cioè al *top* della tecnologia di allora, oggi si invocano i microcircuiti cerebrali impiantati; se prima si diceva di essere stati rapiti e abusati da creature trascendenti, oggi il sequestro è attribuito più concretamente agli extraterrestri o ai servizi segreti. Angeli e demoni hanno fatto un *upgrade* tecnologico che ha conferito loro nuova plausibilità, ma lo schema di fondo è rimasto invariato.

Una recente variante a questa tendenza tecnologica è stata definita da alcuni ricercatori «delirio da Truman Show», con riferimento al celebre film: chi ne è afflitto è convinto lucidamente di essere il protagonista unico di un immenso *reality show* in cui è ripreso e teletrasmesso continuamente; tutti gli altri sono attori, dunque fasulli, e tutto avviene secondo un copione nel quale ogni dettaglio ha un significato personale. Anche qui i pazienti hanno incorporato molto rapidamente nel proprio delirio strutturato un fenomeno culturale relativamente recente. Al posto della Grande Macchina manipolatrice c'è il Grande Fratello.

Vita dell'altro. Nel film *The Truman Show* (1998) il protagonista, interpretato da Jim Carrey, vive a sua insaputa in un *reality show* trasmesso in televisione.

Oggi sappiamo che questi fenomeni non vengono da fuori, ma sono segnali interiori che vanno decodificati e non demonizzati, così come abbiamo capito che l'epilessia non è causata da spiriti maligni e i fulmini non sono lanciati da Zeus. Resta indubbio che di fronte ai racconti così lucidi e dettagliati di coloro che dicono di essere rapiti dagli UFO o di avere chip nel corpo si fatica ancora oggi a pensare che siano sintomi di disagio anziché segni di oscure presenze, ma è uno sforzo di razionalità che dobbiamo fare per poterli davvero aiutare invece di banalizzare le loro esperienze in libri di ufologia o video di improbabili congiure planetarie.

Bureau L.A. Collection/Sygma/Corbis

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore e aspirante cuoco interessato all'esplorazione scientifica del cibo. Autore di *Pane e Bugie* e *OGM tra leggende e realtà*

La temperatura dell'olio che fuma

Quali sono le impurezze che regolano il punto di fumo degli oli di diversa natura

Se scaldiamo l'acqua fino alla sua temperatura di ebollizione, si trasforma in vapore. Questo processo fisico è familiare a tutti e sfruttato in cucina in molti processi di cottura. Non tutti i liquidi però si comportano in questo modo, e gli oli sono un'eccezione importante. Tutti gli oli alimentari sono composti di miscele di trigliceridi diversi costituiti da una molecola di glicerina legata a tre acidi grassi.

Il processo culinario che mette più a dura prova la stabilità di un olio è sicuramente la frittura. Quando riscaldiamo un olio ad alte temperature l'esposizione all'ossigeno dell'aria e la presenza del cibo possono innescare un processo di degradazione ossidandolo e formando sostanze nocive. Più la temperatura è alta, più l'ossidazione è veloce. Anche un uso prolungato può degradare notevolmente un olio, e questo è il motivo per cui in una friggitrice l'olio andrebbe cambiato periodicamente, e non rabboccato.

Oli con una composizione chimica diversa si ossidano in modo diverso. Quelli ricchi di grassi polinsaturi, come l'olio di mais o quello di soia, si degradano più rapidamente rispetto a quelli ricchi di grassi monoinsaturi come gli oli di oliva, nocciole o arachidi, in prevalenza composti da acido oleico. In più l'olio extravergine, non essendo stato raffinato, contiene molecole che agiscono da antiossidanti ritardandone la degradazione. Ancora più stabili sono gli oli contenenti molti grassi saturi, come l'olio di palma o lo strutto. Il loro uso tuttavia andrebbe limitato perché un loro eccessivo consumo può avere conseguenze negative sulla salute. Scaldando un olio a una certa temperatura comincerà a produrre fumo in modo continuo, molto prima che inizi a bollire. A questa temperatura, chiamata «punto di fumo», la glicerina si stacca dagli acidi grassi e si producono fumi tossici contenenti sostanze nocive come l'acroleina.

La temperatura tipica di una frittura è di circa 180 gradi. A temperature più basse il cibo si impregna di olio, mentre a temperature più alte rischia di bruciare velocemente. È importante quindi che l'olio scelto abbia un punto di fumo ben superiore alla temperatura di frittura. Spesso si sente dire che l'olio extravergine di oliva ha un punto di fumo elevato ma questo non è vero. Generalmente, più un olio è raffinato, quindi meno sostanze diverse dai trigliceridi contiene, più è alto il suo punto di fumo. Le impurezze dell'olio che più influiscono sul suo punto di fumo sono gli acidi grassi liberi, non legati alla glicerina. La raffinazione a cui sono sottoposti oli come quello di canola, una particolare varietà di colza, riduce la quantità di acidi grassi liberi e di altre impurezze alzando il punto di fumo. L'olio di canola inizia a fumare solo a 240 gradi, una temperatura molto superiore a quella di una comune frittura.

L'olio di oliva extravergine è ottenuto per estrazione meccanica senza nessuna raffinazione. Per questo motivo contiene una piccola quantità di acidi grassi liberi e una serie di altre impurezze che possono abbassare notevolmente il punto di fumo. È però impossibile definirlo una volta per tutte: due oli prodotti in zone diverse e da varietà di olive diverse possono avere un'acidità e un punto di fumo molto diversi. Se l'acidità è bassa il punto di fumo può superare i 190 gradi: sufficiente per friggere a temperature non troppo elevate. Se l'acidità è elevata, il punto di fumo può crollare sotto i 180 gradi, e quindi rendere l'olio inadatto alla frittura.

Purtroppo l'acidità di un olio extravergine non si può percepire al palato e non è da confondere con il tipico «pizzicore» di alcuni oli extravergini, causato dai polifenoli, le preziose molecole antiossidanti che rendono più stabile l'olio in fritture prolungate. In alternativa si può usare l'olio di arachidi, il cui punto di fumo supera i 210 gradi.

Quello alle olive. Il punto di fumo dell'olio extravergine di oliva non è elevato, contrariamente a quanto spesso si sente dire.

Maximilian Stock Ltd/photocuisine/Corbis

Prossimo numero — a novembre

Numero speciale: LA SCIENZA DEL CIBO

Siamo ciò che mangiamo. Il cibo è una componente essenziale della nostra vita, l'elemento cruciale in cui hanno iniziato a incontrarsi natura e cultura, condizionando l'evoluzione della specie umana. Eppure intorno a esso esistono ancora interrogativi aperti, a cui oggi la scienza sta cercando di rispondere. Che cosa ci fa ingrassare? Perché mangiamo alcuni animali e altri no? Che cosa c'è di vero nelle opinioni comuni su OGM e cibo biologico? Che cosa mangeremo da qui a vent'anni? Quali metodi di coltivazione e quali tecnologie saranno necessari per nutrire tutta la popolazione mondiale? E infine, qual è il segreto che rende il cibo così irresistibilmente gustoso?

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso,
via Cristoforo Colombo 98, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - settembre 2013

Copyright © 2013 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Benedetta Antonielli: *Speranze e illusioni, Imparare con le macchine, Scuole ad alta velocità;* Mauro Capocci: *Le sorprendenti origini della complessità della vita, La corsa agli armamenti acustici;* Silvio Ferraresi: *La funzione del sonno*; Daniele Gewurz: Che cosa è reale?

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7440 del 10/12/2012

Dan Saelinger

Guarda al futuro anche dopo di te

Con un lascito testamentario a Emergency i tuoi valori possono continuare a vivere nel lavoro dei nostri medici e dei nostri infermieri.
Fai continuare il futuro anche dopo di te.

EMERGENCY
www.emergency.it

Per avere maggiori informazioni sulle nostre attività e per conoscere le modalità di destinazione di un lascito a EMERGENCY compila questo coupon e spediscilo via fax allo 02/86316336 o in busta chiusa a **EMERGENCY - UFFICIO LASCITI:**

via Gerolamo Vida 11 – 20127 Milano - T +39 02 863161 – F +39 02 86316336
via dell'Arco del Monte 99/A – 00186 Roma - T +39 06 688151 - F +39 06 68815230
email.. lasciti@emergency.it

NOME COGNOME

INDIRIZZO

CITTÀ CAP PROVINCIA

email* TEL.

*Il tuo indirizzo email ci permetterà di inviarti informazioni più velocemente e di risparmiare i costi di carta, stampa e spedizione.

FIRMA (per presa visione e accettazione dell'informativa sotto riportata)

Informativa ai sensi del D. Lgs. 196/2003
I dati personali raccolti sono trattati, con strumenti manuali e informatici, per finalità amministrative conseguenti la richiesta di invio del materiale oggetto della presente campagna informativa, per la comunicazione di informazioni relative all'attività della associazione e per la promozione e la diffusione di proprie iniziative. Il conferimento dei dati è facoltativo; il mancato conferimento o il successivo diniego al trattamento dei medesimi non consentirà di effettuare le operazioni sopra indicate. I dati personali raccolti potranno essere conosciuti solo da personale specificamente incaricato delle operazioni di trattamento e potranno essere comunicati a terzi ai quali sono affidati la predisposizione e l'invio del materiale. I dati trattati non saranno diffusi. Titolare del trattamento è EMERGENCY – Life Support for Civilian War Victims ONG ONLUS, Via Gerolamo Vida 11 - 20127 Milano, in persona del Presidente e legale rappresentante pro tempore. Responsabile del trattamento è Alessandro Bertani, al quale è possibile rivolgersi, all'indirizzo sopra indicato o ad info@emergency.it, per esercitare i diritti di cui all'art. 7 del D. Lgs. 196/2003, tra i quali quelli di consultare, modificare, cancellare, opporsi al trattamento e conoscere l'elenco aggiornato degli altri responsabili.

Con il patrocinio e la collaborazione del Consiglio Nazionale del Notariato

FIDEI ET VERITATIS ANCHORA
CONSIGLIO NAZIONALE DEL NOTARIATO

L'IMPORTANTE NON È PARTECIPARE. È CORRERE PIÙ VELOCE.

Da oltre dieci anni facciamo correre Internet ad un'altra velocità.
Da allora non ci siamo più fermati.
QUESTA È FIBRA.

Jesse Owens, Berlino 1936

146 | fastweb.it | Punti Vendita

IMMAGINA, PUOI

FASTWEB
un passo avanti